

中國醫藥大學

碩士論文

編號：IEH-1806

建材中石綿含有率測定之探討

**The determination of asbestos
contribution from building materials**

所別：環境醫學研究所

指導教授：郭錦堂 教授

學生：曹智超 TSAO, CHIH-CHAO

學號：9565006

中華民國九十七年七

致謝

「感謝、感謝、感謝曾經幫助我的人！」

首先，要感謝我的指導老師郭錦堂教授，從大學三年級就進入這間與我相處近四年的實驗室，老師都非常盡力協助與指導我及幫助我，在學術研究上參予研討會並與國外學者交流的機會，包括日本研修及泰國學術交流等；老師在平日的對人處事及研究的嚴謹上也影響我很深，除了感謝還是感謝。

感謝彭琬瑜、林靜君與黃元宏學長姊，剛進來辦公室的羞澀與無知，因為學長姊的提攜與敦促，基礎的實驗操作、採樣、研究參予到採樣與實驗規劃，對於讓我一步步的踏入研究的領域，也很感謝琬瑜和靜君學姊在我畢業的時候來歡送！

論文進行的過程中，很感謝日本小柳、關口和東鄉先生的從旁協助。也很感謝惠慈在我論文的過程一起討論和論文的校稿及倍滋和凱鈞的時常關心，常常帶來歡笑。也要感謝峻豪、佑達、吉慶和冠婷以及研究所的好朋友，一起為論文打拼與相互協助。同時也很感謝我的家人和佳倪在我忙著論文與心情煩悶的同時給予我精神上的支持與鼓勵。最後感謝我的口試委員汪禧年和洪益夫教授，在本研究的指導與建議，讓我的論文更加完善。這一切的一切我感激在心！

摘要

石綿為一群水合纖維狀矽酸鹽礦物之總稱主要分成蛇紋石與角閃石兩大類，蛇紋石又以白石綿為代表，角閃石則有青石綿、褐石綿、斜方角閃石、透閃石與揚起石等。本身具耐高溫、耐酸鹼、耐磨、抗拉力、抗腐蝕、絕熱和絕緣等特性所以已被廣泛運用於建材、絕緣體、及煞車來令片等超過 3000 種產品之製造。我國環保署自 2008 年 1 月 1 日起石綿禁止用於石綿板、石綿管、石綿水泥、纖維水泥板之製造，相關的產品仍然暴露於我們日常生活的環境中。除了勞工切鋸時造成暴露，人員裝潢及居住時可能因飛揚之石綿不易清除乾淨而造成危害。以往對於石綿產品的研究是使用有機溶劑、加溫至 600°C、銀膜濾紙來分析，但處理過程繁瑣且費時，銀膜濾紙不穩定且昂貴。

本研究以 X 光繞射儀分析，並參考日本 JIS A1481 分析方法再加以改良，以不同粗細粒徑、酸濃度、水浴溫度及震盪處理步驟，希望能找出最佳的分析條件並實際應用在建材的分析上。

結果顯示以鋅板為基底標準校正元素在粗細粒徑發現以 100mesh 過濾的細顆粒強度可增強 13.4%；在 0, 5, 10, 20%蟻酸濃度處理過濾發現 20%的蟻酸濃度效果最好；在 25, 30, 40, 50°C 處理過濾以 25°C 水浴為最佳的分析強度；震盪時間以水浴震盪 10 分鐘後靜置 12 分鐘為最佳。將本研究最佳的分析條件應用在石綿瓦、粉筆、爽身粉、台灣與日本製的 100%

無石棉的矽酸鈣板、某大樓防火材等樣本。結果顯示，石棉瓦含有白石綿 2.3~5.4%和褐石棉 0~0.87%等，學校舊隔板有 0.31%，某大樓的防火材有 0.20%褐石棉其餘則沒有被發現。本方法相較與以往的方法具有快速簡便、成本低且非破壞性兼顧環保的分析方法。

關鍵字：石棉、石棉瓦、矽酸鈣板、氧化鎂板、X 光繞射儀



Abstract

Asbestos is a natural mineral consisting of salts of hydrous silicates fibrous shape. It can be classified into two groups: (1) serpentine that includes chrysotile, etc.; (2) amphibole that includes amosite, crocidolite, anthophyllite, actinolite and tremolite, etc. There are many kinds of asbestos products with wide application, including asbestos panels, pipes, asbestos cement and fiber cement board. The government has prohibited manufacturing these products since January 1, 2008 in Taiwan. But individuals may still expose to these products from daily activities.

In the past, organic solvent with Ag filter paper at temperature 600°C was used to analyze asbestos products. However, this analysis takes time, and the filter paper is expensive and unstable.

XRD was used for analysis in this study, and JIS A1481(Japan) analytical method was adopted as reference. Besides, we also took some steps with different pore size, acid concentration, hot water bath and shaking procedure to establish the best conditions for the analysis of building materials.

The results showed the best conditions and procedure are : filter the sample with 100 mesh, add 20ml of 20% formic acid and 40ml DI water, disperse with the ultrasonic cleaner for 10 minute, then staying for 12 minute in the hot water bath(25°C), and collect sample by suction filtration on a 25mm T60A20 filter paper. The study aimed to established the method to determine the asbestos content in building materials.

Meanwhile, asbestos content was determined with XRD. Building

materials such as ceiling, partition, calcium silicate board, magnesium board, chalk and asbestos tile can also be determined with the same method. The results showed that these were 2.3~5.4% of chrysotile and 0~0.87% of amosite in the asbestos tile; 0.31% of amosite in the partition; 0.20% of amosite in the fireproofing. In sum, this method is speedy, convenient, cheap, non-destructive.

Keywords: Asbestos, Asbestos tile, Calcium Silicate Board, Magnesium Board, XRD



目錄

致謝.....	I
摘要.....	II
Abstract.....	IV
目錄.....	VI
表目錄.....	VIII
圖目錄.....	IX
附錄目錄.....	XI
第一節 研究緣起.....	1
第二節 研究的重要性.....	3
第三節 研究目的.....	4
第四節 研究問題與研究假設.....	5
第五節 名詞界定.....	6
第一項 X 光繞射儀.....	6
第二項 PDF2 資料庫.....	6
第三項 ENVE 資料庫.....	7
第四項 基底標準吸收校正法.....	7
第二章 文獻探討.....	10
第一節 石綿特性.....	10
第二節 石綿來源.....	13
第三節 石綿主要用途.....	14
第四節 石綿毒性.....	20
第五節 目前應用 X 光繞射儀分析石綿方法.....	24
第六節 研究架構.....	26
第三章 材料與研究方法.....	27
第一節 藥品、材料與儀器.....	27
第二節 實驗方法與步驟概述.....	29
第一項 定性分析流程.....	32

第二項 定量分析流程	32
第三節 粗細粒徑的選用	35
第四節 基底標準吸收校正基質選用	36
第五節 酸處理	37
第六節 檢量線的建立	38
第七節 方法偵測極限	39
第八節 蟻酸濃度	40
第九節 水浴溫度	41
第十節 環境樣本分析	42
第四章 研究結果	44
第一節 粗細粒徑	44
第二節 基底標準吸收校正基質選用	46
第三節 酸處理	50
第四節 檢量線的建立	53
第五節 方法偵測極限	58
第六節 蟻酸濃度	63
第七節 水浴溫度	69
第八節 振盪處理	75
第九節 環境樣本石綿含有率	78
第五章 討論	80
第六章 結論與建議	82
第一節 結論	82
第二節 建議	83
第七章 參考文獻	84

表目錄

表一 石綿相關物化特性.....	12
表二 石綿在工業上主要用途 ⁽²⁾	15
表三 毒化物列管石綿管制歷史沿革.....	17
表四 NIOSH 9000 與 JIS A1481 分析方法比較.....	25
表五 日本 JIS A1481 定性定量於 X 光繞射儀分析條件....	34
表六 取得的環境樣本分析.....	43
表七 鋅板與鋁板重複七次的一致性.....	49
表八 檢量線最低點其偵測極限比較.....	62
表九 三次不同時間下不同震盪時間處理比較.....	77
表十 環境樣本分析結果.....	79

圖目錄

圖一 基底標準吸收校正法示意圖.....	9
圖二 石綿分類及分子結構.....	11
圖三 研究架構流程.....	26
圖四 日本 JIS A1481 石綿分析方法流程.....	30
圖五 日本 JIS A1481 基底標準吸收校正流程.....	31
圖六 粗細樣本中樣本強度比較圖.....	45
圖七 鋁板重複分析七次的一致性.....	47
圖八 鋅板重複分析七次的一致性.....	48
圖九 有無酸處理的 X 光繞射圖譜.....	51
圖十 有無酸處理的濾紙過濾情形.....	52
圖十一 三種石綿標準圖譜.....	54
圖十二 白石綿檢量線.....	55
圖十三 褐石綿檢量線.....	56
圖十四 青石綿檢量線.....	57
圖十五 白石綿重複七次的 X 光繞射圖譜.....	59
圖十六 褐石綿重複七次的 X 光繞射圖譜.....	60
圖十七 青石綿重複七次的 X 光繞射圖譜.....	61

圖十八 不同蟻酸處理自然乾燥後表面現象.....	64
圖十九 不同酸濃度下 X 光繞射儀繞射圖譜.....	65
圖二十 不同酸濃度的消化百分比.....	67
圖二十一 樣本中白石綿及褐石綿於不同蟻酸中定量結果....	68
圖二十二 不同水浴溫度下表面比較.....	70
圖二十三 不同水浴溫度下 X 光繞射儀繞射圖譜.....	71
圖二十四 不同水浴溫度下過濾自然乾燥後的消化百分比....	73
圖二十五 樣本中白石綿及褐石綿於不同溫度處理的含有率..	74
圖二十六 不同時間下不同震盪處理消化百分比.....	76



附錄目錄

附錄一 工作與監控分級..... 93



緒論

第一節 研究緣起

石綿在 IARC 歸類是屬於 Group 1 已確定的致癌性物質⁽¹⁾，石綿相關的疾病可以分成癌性病變及非癌性病病包含石綿肺症、肋膜增厚 (pleural thickening)、肋膜斑 (pleural plagus)、肋膜炎 (pleuritis) 及皮膚雞眼 (corns) 等；癌病變則包含肺癌 (lung cancer)、惡性間皮瘤 (malignant mesothelioma)、胃癌及喉癌等。石綿是一群水合纖維狀矽酸鹽礦物之總稱，主要分成蛇紋岩類與角閃石類，由於具耐高溫、耐酸鹼、耐磨、抗拉力、抗腐蝕、絕熱和絕緣等特性，已被廣泛運用於建材、絕緣體、及煞車來令片等超過 3000 種產品之製造⁽²⁾，而蘇聯、中國、加拿大是主要的出產國。

目前國際各個國家對於石綿管制大致可以分成三個階段：第一階段，禁止所有褐石綿與青石綿用途，但未限制白石綿用途；第二階段，對白石綿的用途加以限制；第三階段則是禁止所有石綿的新用途，僅排除部分尚未有替代品的用途。而我國於 1998 年 12 月 1 日公告禁止製造、輸入、販賣青石綿與褐石綿，並於 2008 年 1 月 1 日起禁止石綿使用於石綿板、石綿管、石綿水泥、纖維水泥板之製造。但是目前仍可使用於合成樹脂 (增黏劑)、石綿防水膠、填充縫膠、石綿瓦、擠出成形水泥複合材中空板、防火、隔熱、保溫材料、石綿帶、石綿布、石綿繩索、石綿

墊片、石綿過濾器、瀝青（填充料）、剎車來令片、建材填縫帶、石綿防銹漆等。目前石綿產品仍然很多，尤其是在建材上，是我們一般民眾接觸最多的產品。然而我國國家標準檢驗局並未將相關產品是否含有石綿列為檢測項目，相關產品中是否含有石綿對於我國國人來說是相當重要的。

石綿分析的儀器有 X 光繞射儀、位相差顯微鏡、偏光顯微鏡、穿透式與掃描式電子顯微鏡，我國環保署目前則是使用偏光顯微鏡來分析，但顯微鏡不能作全體均質定量分析，且需要有特殊呈色劑添加輔佐，相當耗時。X 光繞射儀具有非破壞式分析、快速定量節省人力的分析方法，可依繞射角鑑定物質晶格，故本研究希望藉由 X 光繞射儀分析定量建材中樣本的含量並建置最佳的分析方法。

第二節 研究的重要性

石綿因為優良的物理特性，在 19 世紀開始被使用而 20 世紀大量被應用到日常生活中，但是也正因為此特性造成經由呼吸、食入、皮膚等方式進入體內後不易被人體排除，而造成慢性病變及石綿肺等症狀。石綿工廠及礦場的勞工會有石綿肺等症狀，但是近年來世界各國皆發生居民也有得到相關的疾病且數量持續升高，另外我國石綿的研究中也推測未來應該有愈來愈多的案例發生。雖然我國目前有空氣中石綿纖維的採樣及分析方法⁽⁵¹⁾，但若可以早一步在材料中先檢測出材料中含有石綿而小心處理，則可大大避免勞工或居民暴露到石綿纖維的危害及機率，然而我國目前對材料中是否含有石綿並沒有相關的檢驗及分析方法，本研究方法希望可以提供一個簡單、省時、精確的石綿含量分析方法。

第三節 研究目的

1. 以 X 光繞射儀分析方法中比較美國 NIOSH 9000 與日本 JIS A1481 的異同。
2. 應用 JIS A1481 分析方法並加以改進且於試驗結果。
3. 最佳分析條件應用於市場相關產品分析上，以提供一個簡單、省時且精確且非破壞性的石綿含量的分析方法。



第四節 研究問題與研究假設

含有石綿的要如何鑑定？如何建立一個良好的分析方法？。在 1960 年左右青石綿先進國家已不再使用，而 1980 年代左右褐石綿也被禁止，白石綿到現今卻因為它物理特性相較柔軟而被應用至今。因石綿優良的物化特性造成使用壽命長，故白石綿、青石綿、褐石綿仍然充斥於我們日常生活中，近年來世界先進各國均將石綿規範重新訂定趨於嚴格，而主要應用 X 光繞射法來分析石綿的方法有 NIOSH 9000 與 JIS A1481。改善 X 光繞射儀於石綿的分析方法，建立一個簡單、省時且精確的石綿分析方法。



第五節 名詞界定

第一項 X 光繞射儀

X 光繞射儀，主體結構為 X 光燈管本研究是採用 Cu 當作發射源，當 X 光射出後經過光柵使 X 射線直線通過，打在樣本上可以選用不同大小光柵來控制能量強度與繞射的面積，當樣本物質符合布拉格定理後即產生繞射現象，其繞射光源在經過光柵，即為了過濾 $K\beta$ 波而加裝的 NaI 片，在低角度有放大強度功能的石墨單光器，最後再進入到偵測器中，並連結到電腦中數據比對分析處理。X 光繞射儀需搭配冷卻器，降低發生光源的熱能，適用溫度需在 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

第二項 PDF2 資料庫

各種化合物或元素的結晶粉末，都會有其獨特的 X 光繞射光譜 (diffraction spectrum)，包括各繞射峰值 (即所對應的晶面距， d)，以及各繞射峰彼此間的相對強度。根據此特性，1938 年 Hanawalt, Rinn, Freve 等人首先提出利用 X 光粉末繞射光譜來鑑定結晶物質的類別。這種技術及想法有賴於一個完整的資料庫的建立。初時，稱之為哈納瓦資料庫 (Hanawalt File)。後來歐美日先進國家之有關機構共同合作，成立一國際性的粉末繞射儀的標準委員會 (Joint Committee on Powder Diffraction Standards, JCPDS)，來進行各種已知物質之粉末繞射資料的收集，建立起

一完整的粉末繞射資料庫 (Powder Diffraction File, PDF)。PDF2 的資料庫目前擁有 20 萬筆各類物質的繞射資料。

第三項 ENVE 資料庫

ENVE 乃是其中針對建材中可能擁有相關材質所歸類的一個資料庫擁有的數目約 8 千多筆資料，我們使用 ENVE 資料庫判定為何種材料，確定可能為石綿材料後再施以定量分析處理。

第四項 基底標準吸收校正法

分析物質在低濃度下，會因樣本厚度對物質結晶繞射強度造成影響，而基底標準吸收校正法 (圖一) 乃是為了克服此種因素而成的一種校正法，因此本研究把 X 光繞射儀以鋁與鋅為材料的旋轉載盤當作基底標準物質。由本研究中選擇最佳的結果以選擇單一種材質作為往後分析的基底盤，將採樣前後相對減少的強度變化差異做補正，即可計算出樣本中石綿含量，此方法適用於白石綿、青石綿、褐石棉、石英、方矽石、鱗矽石等。

* $\theta_{\text{Zn or Al}}$ = 鋅板或鋁板的折射角

θ_a = 石綿折射角

*校正係數公式如下：

$$K_f = \frac{-R_\theta \ln(\Delta R_1)}{1 - (\Delta R_1) R_\theta}$$

K_f = 校正係數

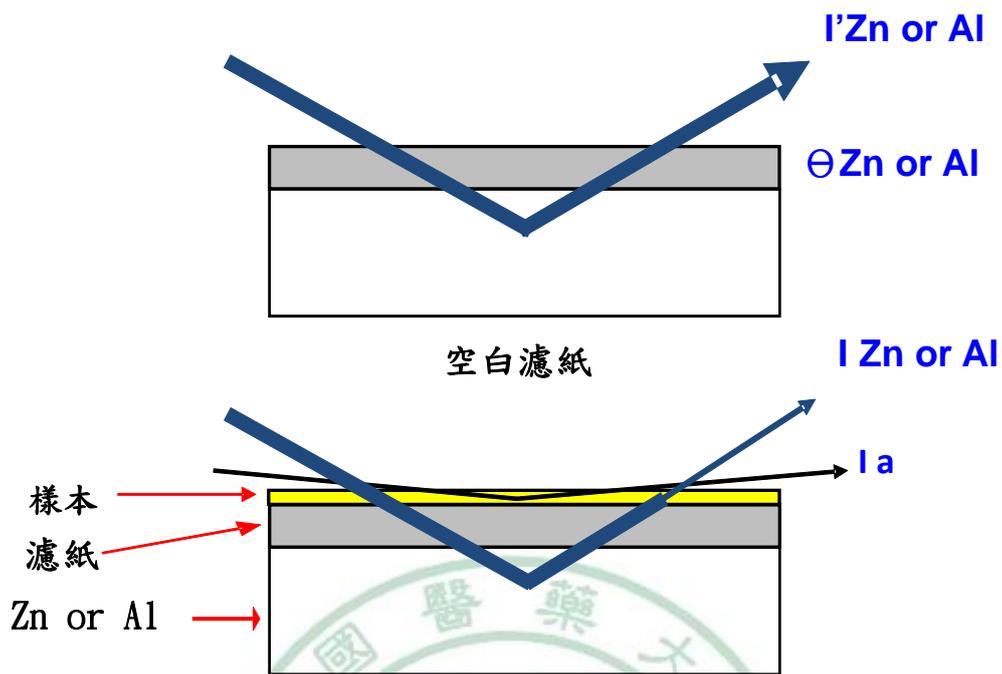
R_θ = 石綿在鋅板或鋁板的回折強度正弦比 = $\sin\theta_{\text{Zn or Al}} / \sin\theta_a$

ΔR_1 = 減少率 = $(I_{\text{Zn or Al}} / I'_{\text{Zn or Al}})$

* $2\theta_{\text{Zn}} = 43^\circ$; $2\theta_{\text{Al}} = 38^\circ$

$2\theta_{\text{白石綿}} = 12.1^\circ$; $2\theta_{\text{青石綿}} = 10.4^\circ$; $2\theta_{\text{褐石綿}} = 10.5^\circ$





樣本
圖一 基底標準吸收校正法示意圖

第二章 文獻探討

第一節 石綿特性

石綿大致可分成蛇紋岩類 (Serpentine) 與角閃石類 (Amphibole)，蛇紋岩類主要由白石綿 (chrysotile) 為代表；角閃石類主要分成青石綿 (Crocidolite)、褐石綿 (Amosite)、斜方角閃石 (Anthophyllite)、透閃石 (Tremolite) 與揚起石 (Actinolite) 五大類 (圖二)。由分子式、物質狀態、形狀、顏色、彈性、氣味、分解溫度、爆炸界限、比重、溶解度 (水、有機溶劑、酸、鹼)，我們可以知道石綿在耐有機溶劑、酸鹼具有高溫才會分解的特性，本身物質狀態穩定耐摩擦等 (表一)。



	<u>Group</u>	<u>Asbestos</u>	<u>Mineral name</u>	<u>Normal Composition</u>
A S B E S T O S	Serpentine	Chrysotile	Chrysotile	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ (白石綿)使用上佔95%以上
		Crocidolite	Riebeckite	$Na_2Fe^{2+}Fe^{3+}_2Si_8O_{22}(OH)_2$ (青石綿)
	Amphibole	Amosite	Grunerite	$(Mg,Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_2$ (褐石綿)
			Anthophyllite	$(Mg,Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_2$ (斜方角閃石)
		Tremolite	Tremolite	$Ca_2(Mg,Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2$ (透閃石)
		Actinolite	Actinolite	$Ca_2(Mg,Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2$ (陽起石)

圖二 石綿分類及分子結構

表一 石綿相關物化特性

種類	白石綿	青石綿	褐石綿	透閃石	陽起石	斜方角閃石
	Chrysotile	Crocidolite	Amosite	Tremolite	Actinolite	Anthophyllite
CAS No	12001-29-5	12001-28-4	12172-73-5	14567-73-8	13768-00-8	17608-78-9
分子式	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$	$[NaFe_3^{2+}Fe^{3+}Si_8O_{22}(OH)_2]_n$	$[(Mg,Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_2]_n$	$[Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2]_n$	$[Ca_2(Mg,Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2]_n$	$[(Mg,Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_2]_n$
物質狀態	固體	固體	固體	固體	固體	固體
形狀	纖維狀	纖維狀	纖維狀	纖維狀	纖維狀	纖維狀
顏色	白色，灰色，綠色，略帶黃色	淡紫色，藍色，綠色	褐色，灰色，略帶綠色	白色，淡綠色	綠色	白色，灰色，綠色，褐灰色
彈性	良好	良好	中等	易碎	中等到易碎	中等到易碎
氣味	無味	無味	無味	無味	無味	無味
分解溫度	800-850°C	800°C	600-900°C	1040°C	--	950°C
爆炸界限	不可燃	不可燃	不可燃	不可燃	不可燃	不可燃
比重	2.55	3.37	3.43	2.9-3.2	3.0-3.2	2.85-3.1
溶解度						
水	不溶	不溶	不溶	不溶	不溶	不溶
有機溶劑	不溶	不溶	不溶	不溶	不溶	不溶
酸	56.00	3.14	12.00			2.13
鹼	1.03	1.20	6.82			1.77

第二節 石綿來源

約在西元兩千年前石器時代，已有使用石綿的記載，日本古代的防火槍衣服也是石綿製品。但遲至西元1880 年才開始被大量開採。石綿多由露天的採礦場、礦苗和地下礦區採回石綿的沈澱物，經乾燥和加工礦石即可得到石綿原料。根據記錄台灣以前也產有石綿，日據時代，日本在花蓮豐田地區開採石綿，豐田是日本當時的老地名範圍相當於現在的壽豐鄉豐裡、豐坪、豐山的三個村落的荖腦山採礦，而當時的產量因為是軍需物質而缺乏相關記錄。目前以中國、加拿大及俄羅斯為主要生產國。



第三節 石綿主要用途

石綿主要分成兩大類，第一大類是蛇紋石類（Serpentine），以白石綿（Chrysotile）為主，是目前工業及商業上使用最主要來源約佔95%。另一類是角閃石類（Amphibole），包括斜方角閃石（Anthophyllite）、褐石綿（Amosite）、透閃石（tremolite）、陽起石（actinolite）及青石綿（Crocidolite）等⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾。主要商業化的石綿有白石綿、青石綿及褐石綿等三種。

石綿因具有耐高溫、耐酸鹼、耐磨及絕緣等良好物化特性，故其用途非常廣泛，根據美國礦物局（Bureau of Mines, USA）指出石綿用途超過二千多種⁽⁶⁾，加拿大能源、礦物與資源部（Canada's Department of Energy Mines and Resources）和石綿資訊委員會（Asbestos Information Association）估計其用途已達三千多種⁽²⁾。石綿相關工業依產品主要分為四種類型：1.石綿水泥業：石綿瓦、平板、隔熱磚；2.石綿耐磨業：剎車來令片、離合器片；3.石綿絕緣業：墊料板、防漏墊、墊圈；4.石綿紡織業：防火布、絲等，詳細工業上用途如下表所示。民國94 年度石綿之總進口量2,916 公噸⁽⁷⁾，國內石綿主要用途以製造剎車來令片為主，其次為石綿瓦、石棉板等建材之製造。

表二 石綿在工業上主要用途⁽²⁾

產 品	用 途
建築材料	地磚、建築地板、防火門、隔牆板、隔音板、水泥板、石綿瓦、屋頂用覆蓋毯
石綿水泥管	自來水或下水道配管、化工廠配管、壓力管、電線電纜導管
墊圈及充填物	酸泵之墊圈、泵附件、凸緣附件、槽體密封附件、化工廠管線充填物、包裝材料
摩擦物質	剎車來令、離合器外層、變速器裏襯、工業用耐磨物質
油料、塗料、防漏劑	汽車卡車本體塗裝、屋頂塗裝、屋頂防漏
石綿加強塑膠	馬達附件、高張力用途之鑄造物、石綿PVC、壓成型物質、飛航工業之動力管噴嘴、火箭之隔熱物質、飛彈之燃料箱
紡織物質	防火衣、防火毛毯、手套、織成紗、索、布、蓆等、戲院銀幕、窗簾
石綿紙	耐火紙、桌墊、飲料過濾器、熔融玻璃處理設備
其他	抗震、太陽熱表面物質、電源絕緣體、石綿芯網

早在民國78年，環保署即將石綿公告為列管的毒性化學物質，依現行公告規定，毒性化學物質「石綿」之管制濃度標準為石綿含量達1% w/w以上(含1% w/w)的纖維狀、細絲狀或絨毛狀石綿；因青石綿(Crocidolite)及褐石綿(Amosite)之纖維細長僵硬、穿透危害較大所以禁止製造、輸入、販賣及使用青石綿及褐石綿。因歐盟禁用石綿之趨勢，以及在英國及南非所發生的石綿事件，而日本居民因近年石綿致癌事件頻傳，造成嚴重社會問題，自2005年十月一日起依規定禁止製造、輸入及使用含石綿成份的建材、磨擦物質等產品，同時要求業者儘快採用無石綿成份的產品取代。環保署於民國97年1月1日起禁止用於石綿板、石綿管、石綿水泥、纖維水泥板之製造⁽⁸⁾ (表三)。



表三 毒化物列管石綿管制歷史沿革

年份	公告	內容
1989	列管毒性化學物質	05月01日公告： 公告含石綿成分15%w/w以上之物質為毒性化學物質，禁止使用於新換裝之自來水管，列管編號為003-01。
1989	排除管制例外項目	11月07日函釋： 凡石綿含量未達15%w/w已使用至管線、鍋爐、汽車等硬體設備或商品者，則不包括在管制內。
1991	禁用於飲用水管線	02月27日公告： 禁止石綿使用於新換裝之飲用水管及其配件，已使用中之水管及水管配件，得繼續使用至報廢為止。
1996	9項許可目的用途	10月4日公告： 許可目的用途：1.研究、試驗、教育 2.合成樹脂(增黏劑)、石綿防水膠、填充縫膠之製造 3.石綿瓦、板、管、石綿水泥之製造 4.防火、隔熱、保溫材料之製造 5.石綿帶、布、繩索、墊片之製造 6.石綿過濾器、瀝青(填充料)之製造 7.剎車來令片之製造 8.建材填縫帶之製造 9.石綿防銹漆之製造。
1997	禁止製造、輸入、販賣、使用青石綿及褐石綿	02月26日公告： 1. 管制濃度標準：纖維狀、細絲狀或絨毛狀石綿含量達1%(含)以上者(w/w)。

-
2. 禁止製造、輸入、販賣及使用青石綿(Crocidolite)及褐石綿(amosite)。但試驗、研究、教育用者，不在此限。

07月07日公告：

1. 列管編號：003
2. 最低管制限量：500公斤
3. 石綿管制濃度標準：纖維狀、細絲狀或絨毛狀石綿含量達1%(含)以上者(w/w)
4. 毒性分類為第2類：化學物質有致腫瘤、生育能力受損、畸胎、遺傳因子突變或其他慢性疾病等作用者。
5. 新增許可目的用途：10.纖維水泥板之製造

1998

修正石綿濃度管制標準及毒性分類

12月01日公告：

1. 列管編號：003、序號01
2. 最低管制限量：500公斤
3. 石綿管制濃度標準：纖維狀、細絲狀或絨毛狀石綿含量達1%(含)以上者(w/w)
4. 毒性分類：第2類

1998

修正運作管理事項

5. 禁止製造、輸入、販賣及使用青石綿(Crocidolite)及褐石綿(amosite)。但試驗、研究、教育用者，不在此限。石綿禁止使用於新換裝之飲用水管及其配件，使用中之水管及水管配件得繼續使用至報廢為止。
 6. 石綿之貯存場所需為密閉場所，貯存時應採用足以防止飛散及流失之容器盛裝。
-

12月30日公告：

2005 修正限制用途管制

自2008年1月1日起石綿禁止用於石綿板、石綿管、石綿水泥、纖維水泥板之製造，並於公告日起不予新登記備查或核可該等用途。



第四節 石綿毒性

Wanger (1963) ⁽¹⁴⁾ 將天竺鼠及長尾黑顎猴 (Vervet monkey) 暴露在平均30000 particles/mL 濃度之白石綿及褐石綿下，每天8 小時、每週5 天、持續49 週，結果發現暴露於白石綿之天竺鼠產生肺部纖維化、間質性肺炎等，而暴露於褐石綿亦有類似結果且其損傷速度較快；在吸入白石綿7、10、22 個月後有三隻長尾黑顎猴 死亡，而暴露於褐石綿者則於4、14、24 個月亦有三隻死亡，並在其病理組織發現肺纖維化及肺性心臟病，在後來的研究(1974) ⁽¹⁵⁾ 則將Wistar 大鼠暴露於濃度9.7-14.7 mg/m³ 之褐石綿、青石綿及白石綿，持續時間為3、6、12 或24 個月、每天7 小時、1 週5 天，結果發現其石綿肺嚴重度與暴露時間有關，而白石綿較其他石綿種類所導致之石綿肺輕微。

國際癌症研究中心 (Internationa Agency for Research on Cancer, IARC) 指出石綿，包括白石綿、褐石綿與青石綿在動物實驗中已有足夠證據被認定為致癌物質 ^{(1) (16) (17)}。而大於5 μm 中長度的石綿纖維比小於5 μm 短纖維更具致癌性，長期餵食中長度的石綿纖維會導致雄鼠大腸腫瘤 ⁽¹⁸⁾。Stanton 等人研究顯示腫瘤發生主要與大於8 μm 長度及直徑小於等於0.25 μm 的纖維有關 ⁽¹⁹⁾。總之，動物實驗資料顯示在相同化學組成下，較長纖維的毒性高於等量的短纖維，而長度10-15 μm 纖維會引起肺實質纖維化，而8-10 μm 之短纖維能導致間皮瘤 ⁽²⁰⁾。

動物實驗顯示，大部分食入性石綿纖維不會經由腸胃道吸收，然而有些纖維可以穿透腸胃上皮細胞，經由腸胃道壁進入血液、淋巴及其他組織。吸入性石綿纖維大多沈積在呼吸道上皮細胞，Timbrell⁽²⁶⁾指出大於3 μm 粗纖維沈積在人體上呼吸道，而較細纖維則在呼吸道深部。吸入白石綿、褐石綿及青石綿後，60%纖維會沈積在鼻、喉嚨等上呼吸道⁽²⁷⁾⁽²⁸⁾。吸入之石綿會藉由排痰作用由呼吸道清除而吞入，因此評估腸胃癌時應注意吸入性石綿之吸收情形。石綿纖維能穿透皮膚，但無資料顯示能經由皮膚進入血流。

沈積在肺中之角閃石纖維不會發生重大變化，而白石綿纖維則會分解或改變。停留在肺中較長石綿纖維可能會發生溶解、破裂、分裂或蛋白質包覆形成石綿小體 (asbestos body) 等⁽²⁵⁾。短纖維的白石綿廓清優於長纖維⁽³⁷⁾，長度大於16 μm 之白石綿會產生的橫向或縱向的斷裂，一根石綿纖維可斷裂成數百根微細纖維，可能增加其潛在健康危害性，而又有研究指出沒被包覆的小纖維，可能是進入腹膜及肋膜腔的型態。

目前在台灣只有零星病例與石綿相關疾病有關與先進國家比例懸殊，且未受大眾關心，但去年台中石綿水管風波引起人們對石綿致癌問題的關切，其實在日本與歐洲，石綿釀成的災禍正持續擴大當中，尤其是日本。日本自1955 年開始進口石綿，至1974 年到達尖峰達352,316 噸，由於石綿致癌潛伏期長達30 年，又因過去過度輕視石綿所可能造成

的居民公害問題，以致無法正確掌握石綿對人體的危害，所以近年來因石綿相關疾病而死亡事件頻傳，厚生勞動省從1995年起統計因間皮腫瘤死亡的人數，由當時500人到2004年時已達953人，死亡人數逐年增加，受害人多半為職業暴露者，但最近發現不只是員工，連員工眷屬、工廠週邊、建築工地附近居民，都傳出罹患間皮腫瘤的案例，值得我國引以為鑑。石綿暴露相關疾病很多，可以分成癌性病變及非癌性病變。非癌性病變包含石綿肺症、肋膜增厚(pleural thickening)、肋膜斑(pleural plagues)、肋膜炎(pleuritis)及皮膚雞眼(corns)等；癌性病變則包含肺癌(lung cancer)、惡性間皮瘤(malignant mesothelioma)、胃癌及喉癌等⁽⁴³⁾。1930年代石綿礦工肺癌罹患率高於一般民眾，其後數年惡性間皮瘤也被懷疑和石綿暴露有關，石綿工人與肺、胸膜腫瘤因果相關分別於1950及1960年代被發現⁽⁴⁸⁾。動物實驗及流行病學調查顯示，石綿會導致石綿肺、胸膜斑、肺癌及間皮腫瘤等，其中以肺癌、間皮腫瘤及石綿肺最為大眾關心。WHO報告指出吸入石綿具致癌性已有明確證據，許多職業研究指出，吸入石綿會導致肺癌及間皮瘤⁽¹⁸⁾。肺癌通常發生在氣管、支氣管或肺泡上皮細胞，流行病學研究顯示肺癌的發生與石綿的累積暴露量呈直線相關，而吸菸為一重要相輔因子，未暴露石綿的吸菸者常見的肺癌為鱗狀表皮癌，而石綿相關的肺癌則傾向腺癌。抽煙及暴露於其他的致癌物質，大大增加與石綿有關肺癌的危險性⁽¹⁸⁾。

1. 石綿進入人體途徑⁽¹⁸⁾

(1) 經呼吸道進入

唯一經證實對人體健康有害的管道，造成石綿肺、肋膜斑、間皮瘤、及肺癌等，與石綿纖維種類、長短、直徑有關。

(2) 經消化道進入

飲水、食物或呼吸進入，在上呼吸道經氣管纖毛（cilia）液化成痰排出，之後吞嚥進入人體消化道。其相關的疾病為腸胃道腫瘤、直腸癌、及食道癌等，但目前缺乏確切證據顯示經口進入的石綿對人體有不良的影響。

(3) 皮膚接觸

由於石綿纖維細長堅硬，經外力強大衝擊，會嵌在人體皮膚表面，久之形成良性肉芽腫或皮膚雞眼，對人體而言，並未造成功能上或實質上的傷害。

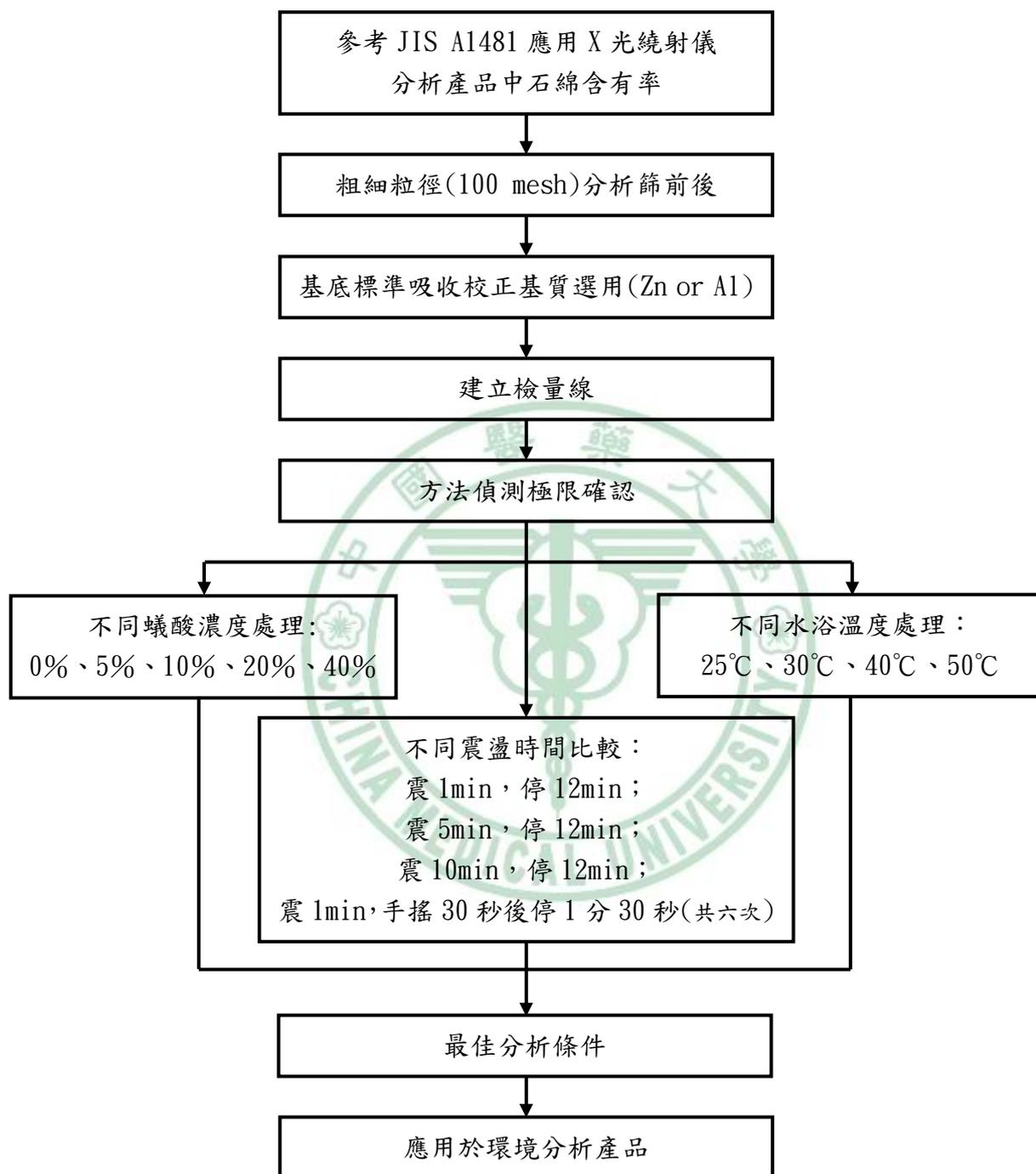
第五節 目前應用 X 光繞射儀分析石綿方法

目前應用 X 光繞射儀分析石綿方法，以 NIOSH 9000⁽⁵²⁾ 於 1994 年第二次修改的分析方法與日本於 2006 年改進 NIOSH 9000 的 JIS A1481⁽⁵³⁾ 分析方法兩者，進一步比較發現，NIOSH 9000 所用的濾紙為昂貴的銀膜濾紙且每批濾紙差異大；JIS A1481 所用的聚四氟乙烯濾紙表覆玻璃纖維較為穩定且抗濕抗靜電性較佳且價格便宜。而在過濾處理下 NIOSH 9000 須以有機溶劑異丙醇處理而且程序複雜；而 JIS A1481 用少量的蟻酸處理震盪過濾程序較為簡單。而在基底標準吸收校正法上 NIOSH 9000 以銀膜濾紙的銀為當作校正基準；JIS A1481 直接用儀器的載盤的金屬元素 (Al or Zn) 當作校正基準。整體上來說 JIS A1481 的方法較 NIOSH 9000 較為簡便、省時、精確、經濟的分析方法 (表四)。

表四 NIOSH 9000 與 JIS A1481 分析方法比較

分析方法	NIOSH 9000 (1994)	JIS A1481 (2006)
濾紙	銀膜	聚四氟乙烯濾紙表覆玻璃纖維 (T60A20)
過濾法	異丙醇	蟻酸處理
基底標準吸收	銀膜	分析樣本盤 (Al or Zn)
補正		
時間	費時	較快
處理過程	繁瑣	較簡易

第六節 研究架構



圖三 研究架構流程

第三章 材料與研究方法

第一節 藥品、材料與儀器

藥品

1. 白石綿 JAWE111
2. 褐石綿 JAWE211
3. 青石綿 JAWE311
4. 蟻酸 TEDIA,Formic acid 96%

材料

1. 共栓試管：PYREX, 15mm*110mm
2. 微量吸管：SIBATA,1ml, 2ml, 4ml 10ml
3. 定量瓶：SIBATA、PYREX, 100ml
4. 溫度計：
5. 分析篩：100mesh:BUNSEKIFURUI KUANG YANG
6. 樣本瓶：40ml
7. 塑膠瓶：250ml
8. 定量量筒：SIBATA, 100ml
9. 燒杯:PYREX, 250ml
10. 滴管：KIMBLE, 5 3/4 inch

11.25mm 聚四氟乙烯披覆玻璃纖維濾紙 T60A20: 25mm Fiber film
T60A20

12.25mm 過濾器 :KONTES, microfiltration assembly, 25mm,
ULTRA-WARE

13.濾紙夾

14.鑷子

儀器

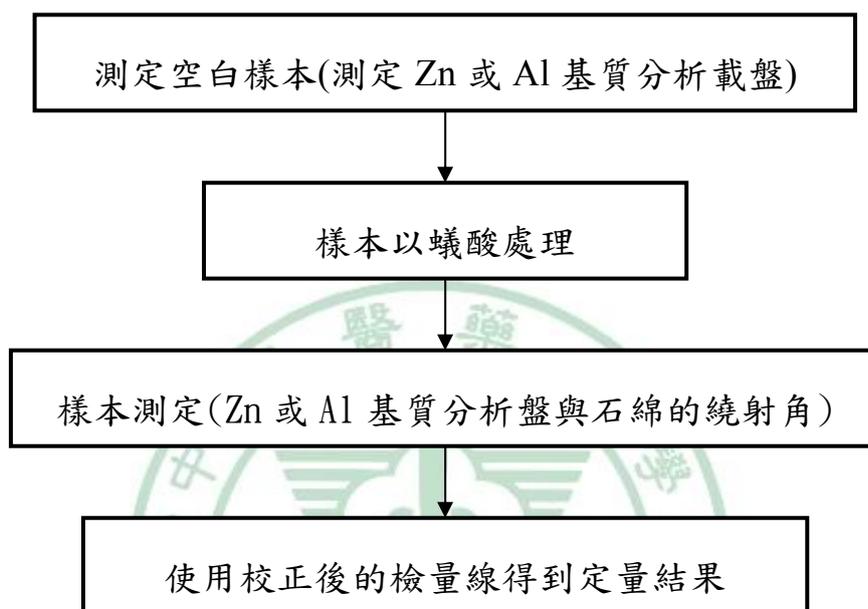
1. 批量式高速粉碎機：high speed grinder RT-02A 150G
2. 馬達幫浦：ABM Greiffenberger antriebstechnik GmbH ME2c
3. 水槽恆溫控制器：TAIYO, thermo minder Jr-80
4. 五位數精密電子天平：electronic balance, AND,ER-182A
5. 超音波振盪器：ultrasonic cleaner, DELTA DC400H
6. 冷凝器：FISONS HAAKE EK51-1
7. 超純水機：MILLIPORE Milli-Q PLUS
8. X光繞射分析儀：SHIMADZU X-ray diffractometer XRD-600
9. 抽氣櫃
10. 單眼數位照相機：CANON 350D

第二節 實驗方法與步驟概述

X 光繞射儀是在礦物分析應用上最常見的方法，是將其礦物粉碎後直接將粉末撲滿並利用載玻片壓實粉末於定性載盤上，利用 X 光繞射儀對樣本中產生的繞射圖譜藉由軟體中的資料庫，加以判定為何種材質。在定量上雖因 X 光繞射儀一般的誤差在 1% 以上並不十分令人驚訝，不過好處是非破壞性的分析可以重覆檢測分析樣本較不會造成環境污染等等優點。正因為 X 光繞射儀本身的極限，故我們需要微量、精確、去除干擾物質時，需藉由以下定量的分析步驟的控制，來得到最佳的分析強度、準確度及偵測極限。本研究先參考 JIS A1481 的定量定性的前處理步驟（圖四）搭配基底標準吸收校正（圖五）及 X 光繞射儀的分析步驟並就其參數選擇做實際分析達到最佳的分析參數條件，以下作其詳細的介紹。



圖四 日本 JIS A1481 石綿分析方法流程



圖五 日本 JIS A1481 基底標準吸收校正流程

第一項 定性分析流程

樣本最少需 100cm^2 以上大小，分析前需以清水沖除及刷子刷除有機物及雜質土壤，放置乾燥後於抽風櫃中取出並放入不鏽鋼研磨玻打碎後，把碎片再放入批量式高速粉碎機中運轉至無硬物碰撞內壁聲後數分鐘，靜置數分鐘等內容物細粒徑物質落下來，放至於抽風櫃中開啟抽風設施後，慢慢打開批量式高速粉碎機上蓋，用刮杓將粉碎物質置於 100mesh 分析篩上，取分析篩下方物質後放置 40ml 樣本瓶，將粉末撲滿並利用載玻片壓實粉末於定性載盤上，將 X 光繞射依照定性分析條件參數設定（表五）。分析完後比對軟體中的 ENVE 資料庫即可得到產品中為何種材質，而是否含有石綿。

第二項 定量分析流程

當定性分析判定含有石綿後，先將空白 25mm 聚四氟乙烯披覆玻璃纖維濾紙（T60A20）秤重記錄當時重量後，並先行於 X 光繞射儀分析其背景校正角度鋅（Zn）或鋁（Al），乃再取 40ml 樣本瓶中的樣本粉末於五位數精密電子天平中秤重 100mg，放於 100ml 定量瓶中每個樣本皆取三個，各加入 40ml 去離子水與 20ml 不同濃度的蟻酸、不同的水浴溫度、不同的震盪時間，經由 25mm 過濾器過濾在空白 25mm 聚四氟乙烯披覆玻璃纖維濾紙（T60A20），自然乾燥後以 X 光繞射儀定量分析條件分析

(表五)。分析後再將其帶入建立好的檢量線，得其重量在換算重量百分比，即為樣本石綿含有率。



表五 日本 JIS A1481 定性定量於 X 光繞射儀分析條件

項目	定性	定量
X-ray 條件	CuK α line	CuK α line
單色儀	石墨單色儀	石墨單色儀
欄柵	DS : 1°	DS : 1°
掃描速度	快	慢
掃描範圍	2 θ : 5°~70°	2 θ : 11°~13°(白石綿) 2 θ : 9°~12°(褐、青石綿) 2 θ : 38°(鋁) 2 θ : 43°(鋅)
樣本旋轉速度	60rpm	30rpm

第三節 粗細粒徑的選用

本研究希望藉由 100mesh 過濾篩前後的結果來判定，分析相同重量相同物質的情況下顆粒粗細於 X 光繞射儀的影響。本研究在方法上分成兩組一組是經由批量式高速粉碎機後的粉末未經 100mesh 過濾篩過濾的粉末直接以 X 光繞射儀分析；另外一組則是經由批量式高速粉碎機後的粉末以 100mesh 過濾篩過濾後的細粒徑粉末施以 X 光繞射儀分析，粉末直接以定性的分析條件得知分析強度。了解在相同的樣本中是否會因顆粒的粗細而影響樣本於 X 光繞射儀分析強度。達到良好的石綿樣本分析方法。



第四節 基底標準吸收校正基質選用

參考 JIS A1481 的方法中，得知在石綿樣本濃度低之下需配合使用基底標準吸收校正法來輔正檢量線於低濃度時非線性的情況。而分析方法建議可用分析載盤鋅 (Zn) 或鋁 (Al) 來當作基底標準吸收校正的基質與 NIOSH 9000 的分析方法相比可說是相當簡便且一致。唯本研究需要以一致的基底來校正，本項實驗乃選用同一張空白濾紙各別鋅 (Zn) 和鋁 (Al) 的分析載盤下各重複分析七次，求其平均值，標準差和變異係數，了解該選用何者樣本分析載盤可達到較穩定的分析結果。



第五節 酸處理

一般的建築或防火材等含有石綿的產品，為了避免產品重量過重、單價過高，皆會添加對酸耐受性較差的碳酸鈣，而本研究希望藉由石綿對濃度較低的蟻酸沒有反應的特性，來去除基質（如：碳酸鈣）對酸會融解的干擾物質，達到分析濃度可再降低的結果。



第六節 檢量線的建立

先將空白 25mm 聚四氟乙烯披覆玻璃纖維濾紙 (T60A20) 秤重記錄當時重量後，將白石綿、青石綿、褐石綿三種各取標準品數 mg，並加入 5mg:1ml 的蟻酸數 ml，超音波震盪器震盪 1 分鐘之後，在室溫 30°C 水浴中每搖 30 秒停 1 分 30 秒六次循環後，經由 25mm 過濾器過濾在空白 25mm 聚四氟乙烯披覆玻璃纖維濾紙 (T60A20) 上，自然乾燥後於 X 光繞射儀分析白石綿、青石綿、褐石綿的繞射角度，並同時分析得到白石綿、青石綿、褐石綿每種檢量線皆須 5 點以上，r 值需大於 0.995 以上。



第七節 方法偵測極限

分析儀器因為靈敏度的不同，對分析物質有一定之偵測極限，低於該濃度時則無法測定出物質含量。本研究採用美國材料測試學會（American Society of Testing Materials, ASTM）之定義，以檢量線之最低點濃度進行 7 次重覆測定，所求得之波峰面積，計算其平均值及標準差，以 1 倍標準偏差除以平均值乘上檢量線最低點濃度為偵測極限；3 倍標準偏差除以平均值乘上檢量線最低點濃度為方法偵測極限。公式如下所示：

$$LLD = \left[\frac{SD}{\text{mean}(\text{peak area})} \times \text{concentration} \right]$$

$$LOD = \left[3 \times \frac{SD}{\text{mean}(\text{peak area})} \times \text{concentration} \right]$$

本研究的分析方法偵測極限使用白石綿、褐石綿及青石綿的檢量線最低點重複分析七次來求得各分析物的方法偵測極限。

第八節 蟻酸濃度

石綿中主要分成兩大類一類為蛇紋岩類、另一類為角閃岩類。蛇紋岩類以白石綿為代表；角閃石類以青石綿及褐石綿為主要商業上用途。一般來說石綿皆為耐酸鹼性物質，唯白石綿較易受濃度較高或較強的強酸影響，相關文獻中也應證了強酸不適用於白石綿處理上，因此我們參考 JIS A1481 建議方法選用了較弱酸的蟻酸來進行，並設定了不同濃度下的蟻酸處理分別為：0%、5%、10%、20%、40%，藉由不同濃度的蟻酸處理每種濃度各別製作三個樣本。自然乾燥後並且使用五位數精密電子天平秤其後重，了解不同溫度下樣本的消化情況；加以 X 光繞射儀分析，了解在相同樣本中是否會因不同濃度蟻酸而影響石綿於樣本中含量。

第九節 水浴溫度

因參考日本 JIS A1481 分析方法中提到須在 30°C 水浴中操作而在不同溫度下，假設樣本分析物質會因不同溫度溶解度不同而影響自然乾燥後表面平整的關係，因此將溫度此參數分成 25°C、30°C、40°C、50°C 不同溫度下製作三個樣本，自然乾燥後並且使用五位數精密電子天平秤其後重，了解不同溫度下樣本的消化情況；加以 X 光繞射儀分析，了解在相同樣本中是否會因不同水浴處理溫度而影響石綿於樣本中含量。



第十節 環境樣本分析

先將環境樣本(表六)依照定性的方法,以 X 光繞射儀分析 $5^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 掃描後,分析圖譜藉由 X 光繞射儀軟體資料庫判定為含有石綿材質。定量則將環境樣本以本研究的最佳分析條件處理,過濾至濾紙上自然乾燥後再以 X 光繞射儀分析。將其秤重換算,求其石綿含有率。



表六 取得的環境樣本分析

環境樣本

1. 石綿瓦 台中大里
 2. 石綿瓦 彰化鹿港
 3. 石綿瓦 宜蘭三星
 4. 石綿瓦 宜蘭天送碑
 5. 學校舊隔板
 6. H606 碳酸鈣板
 7. 粉筆紅藍綠
 8. 日本國土交通大臣認定無石綿 矽酸鈣板
 9. 日本欣蘭 A&AM 矽酸鈣板
 10. 國浦矽酸鈣板
 11. HC(卜興)矽酸鈣板
 12. 優特美欣 805(無色料)
 13. 優特美欣 530(粉紅紋)
 14. 優特美欣 510(藍色紋)
 15. 爽身粉
 16. 某大樓建材
-

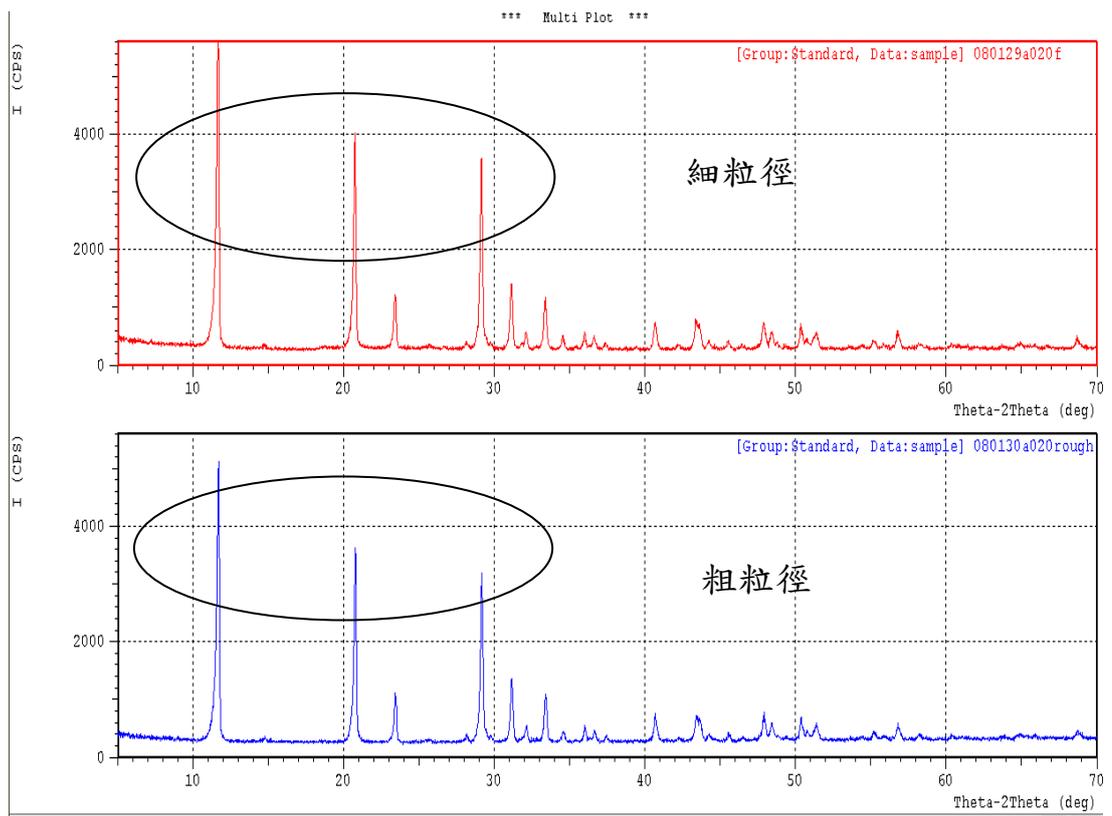


第四章 研究結果

第一節 粗細粒徑

分成 100mesh 分析篩篩過的細粒徑與未過濾樣本進行分析比較，加以 X 光繞射儀分析，了解在相同樣本中是否會因顆粒的粗細而影響石綿於樣本中含量。結果中顯示波峰面積強度增強了 13.4%（圖六，上方為細粒徑，下方為粗粒徑）。

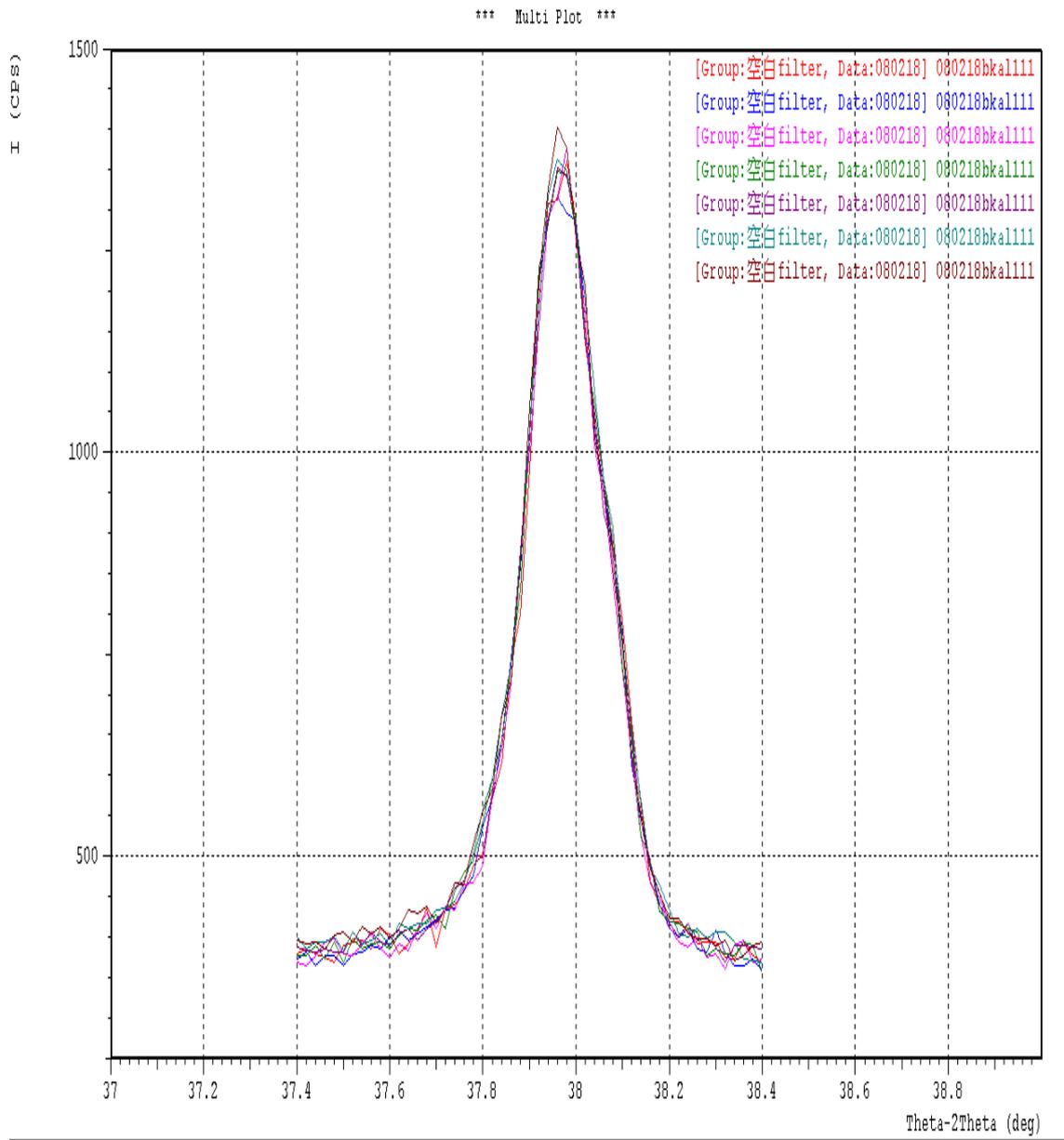




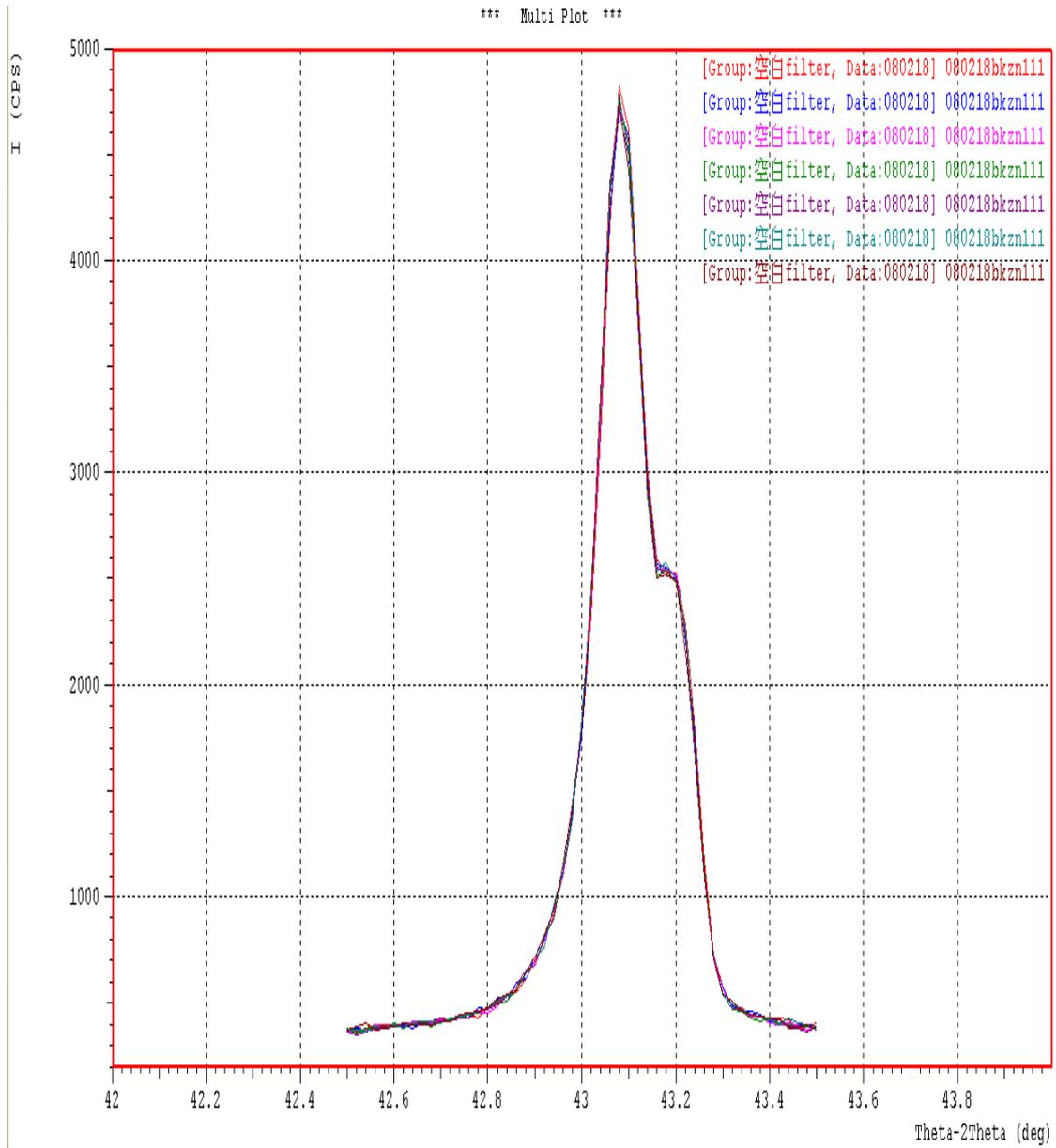
圖六 粗細樣本中樣本強度比較圖

第二節 基底標準吸收校正基質選用

分析物質在低濃度下，會因樣本厚度對物質結晶繞射強度造成影響，而基底標準吸收校正法乃是為了克服此種因素而成的一種校正法，因此本研究把X光繞射儀以鋁與鋅為材料的旋轉載盤當作基底標準物質以相同一張空白濾紙以鋁板及鋅板不同分析載盤，分析其載盤的強度來做儀器基本的穩定性及選用校正基質的基準，本研究分析鋁板(38°) (圖七)及鋅板(43°) (圖八)於X光繞射儀的繞射角度。重複7次後計算再現性，可以達到良好的CV值，鋁板CV=0.95% (表七)；鋅板CV=0.39%。也可以說本研究拿鋁板及鋅板當做基底背景校正的校正元素是很穩定的，不過比較之下以鋅板略為良好故以下的分析條件皆以鋅板來當作基底標準吸收校正的校正元素。



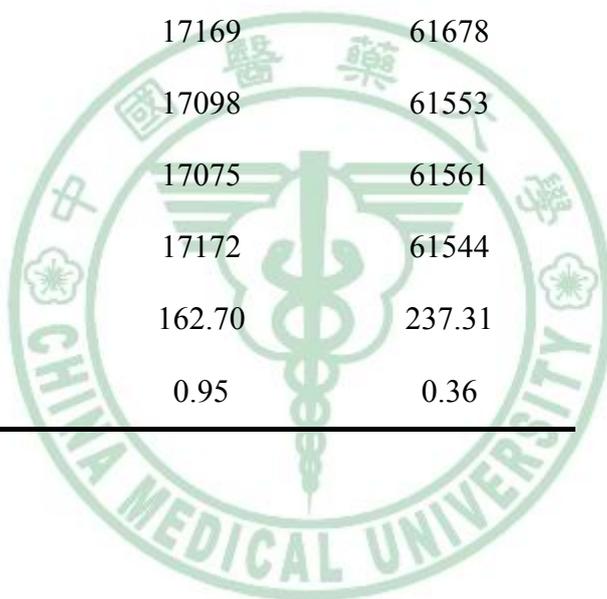
圖七 鋁板重複分析七次的一致性



圖八 鋅板重複分析七次的一致性

表七 鋅板與鋁板重複七次的一致性

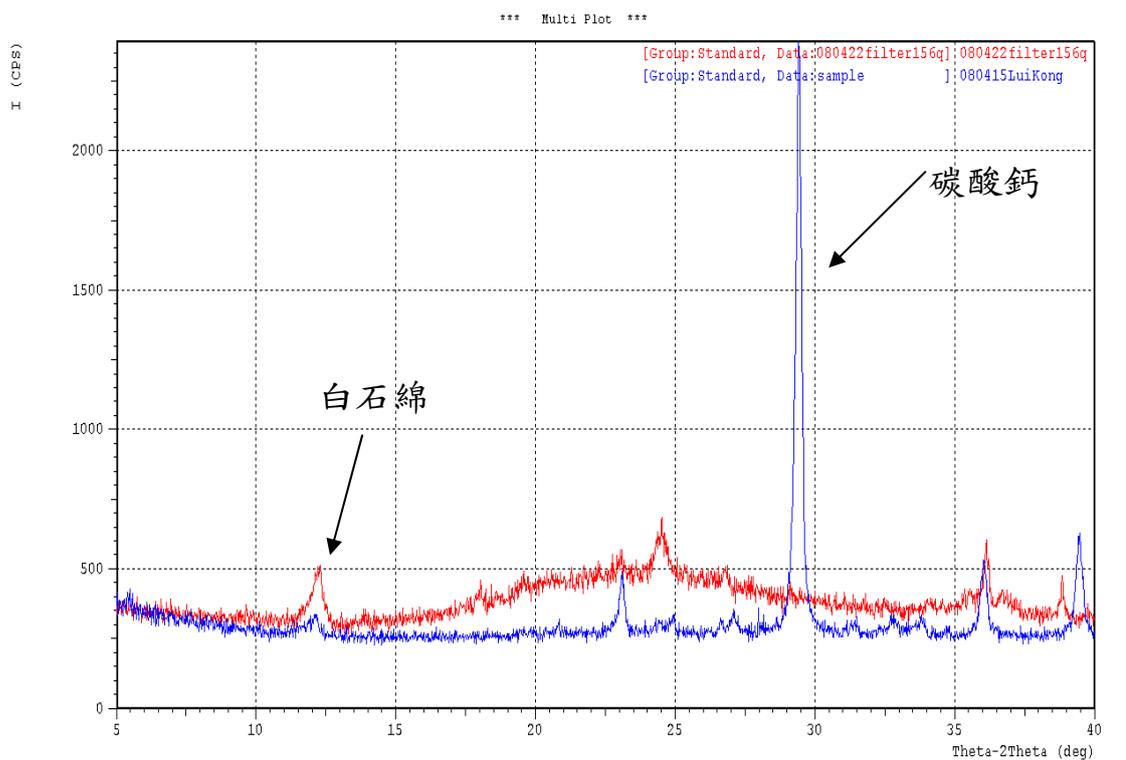
	鋁板強度	鋅板強度	
1	17050	61053	
2	17447	61811	
3	17021	61526	
次數	4	17347	61627
	5	17169	61678
	6	17098	61553
	7	17075	61561
平均值	17172	61544	
標準差	162.70	237.31	
變異係數(%)	0.95	0.36	



第三節 酸處理

一般的建築或防火材等含有石綿的產品，為了避免產品重量過重、單價過高，皆會添加對酸耐受性較差的碳酸鈣作為基質，而本研究希望藉由石綿對濃度較低的蟻酸沒有反應的特性，來去除基質（如：碳酸鈣）及對酸會融解的干擾物質，達到分析濃度可再降低的結果。本研究結果可以發現，經過酸化處理的樣本在石綿出現的繞射角有大幅度的增強，相對的碳酸鈣的繞射角（ 29° ）可以看到完全被酸溶解掉而未呈現出繞射圖譜中（圖九），並且觀察濾紙可以發現粉末厚度及處理後色澤皆有很大的差異。（圖十）由此可以看出蟻酸在石綿定量的分析上是有顯著的提升偵測極限的效果。





圖九 有無酸處理的 X 光繞射圖譜

* 12.1° 白石綿

* 29° 碳酸鈣

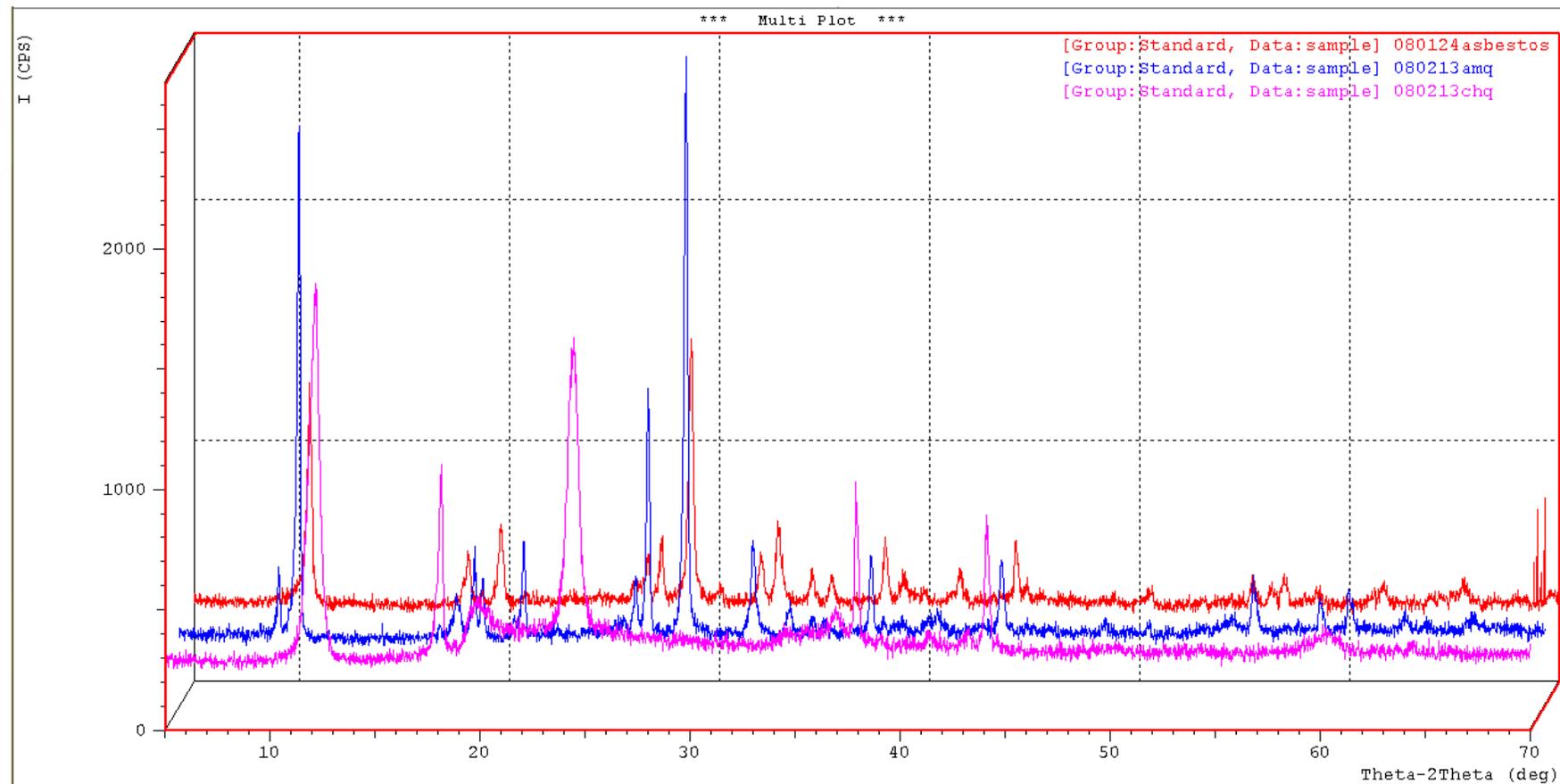


圖十 有無酸處理的濾紙過濾情形

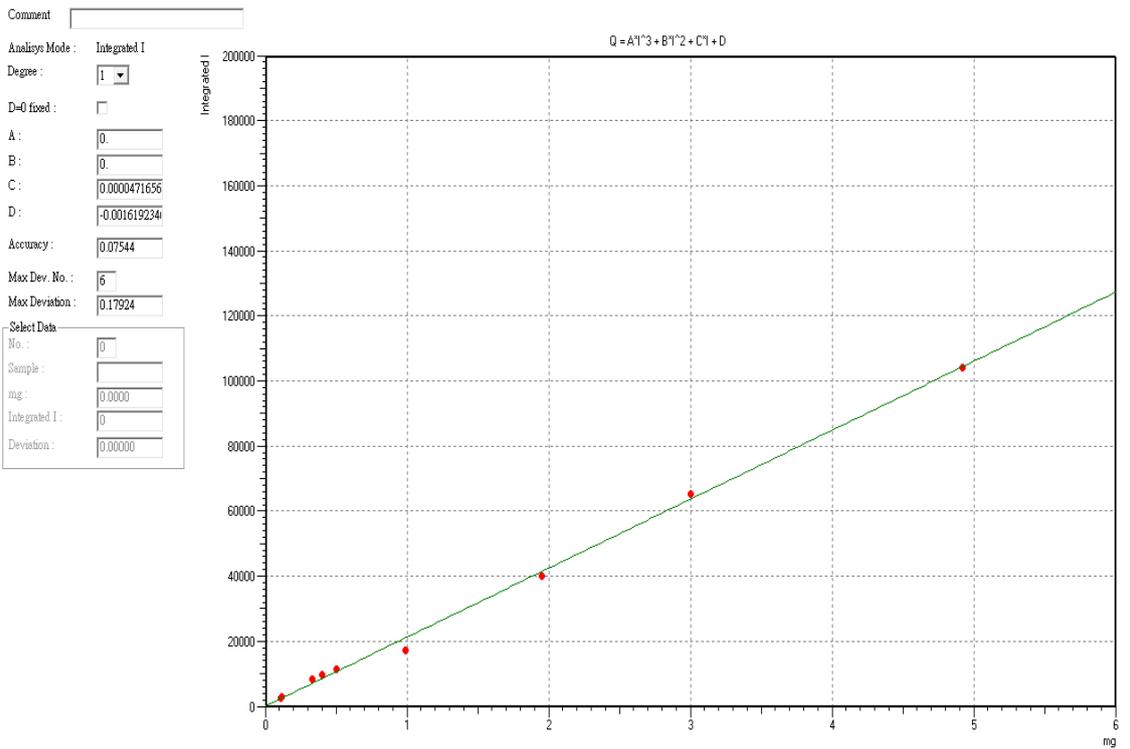
(左邊為沒有酸處理；右邊為有酸處理)

第四節 檢量線的建立

先將空白 25mm 聚四氟乙烯披覆玻璃纖維濾紙 (T60A20) 秤重記錄當時重量後，將白石綿、青石綿、褐石綿三種各取標準品數 mg，並加入 5mg:1ml 的蟻酸數 ml，超音波震盪器震盪 1 分鐘之後，在室溫 30°C 水浴中每搖 30 秒停 1 分 30 秒六次循環後，經由 25mm 過濾器過濾在空白 25mm 聚四氟乙烯披覆玻璃纖維濾紙 (T60A20) 上，自然乾燥後於 X 光繞射儀分析白石綿、青石綿、褐石綿的繞射角度(圖十一)，並同時分析得到白石綿、青石綿、褐石綿每種檢量線皆須 5 點以上，r 值需大於 0.995 以上。本研究建立白石綿的範圍為：白石綿，0.11~4.92mg (圖十二)；褐石綿，0.09~5.21mg (圖十三)；青石綿，0.15~5.01mg (圖十三四)，r 值皆大於 0.995。



圖十一 三種石綿標準圖譜



圖十二 白石綿檢量線

Comment

Analysis Mode: Integrated I

Degree: 1

D=0 fixed:

A: 0

B: 0

C: 0.0000210778

D: 0.0386780590

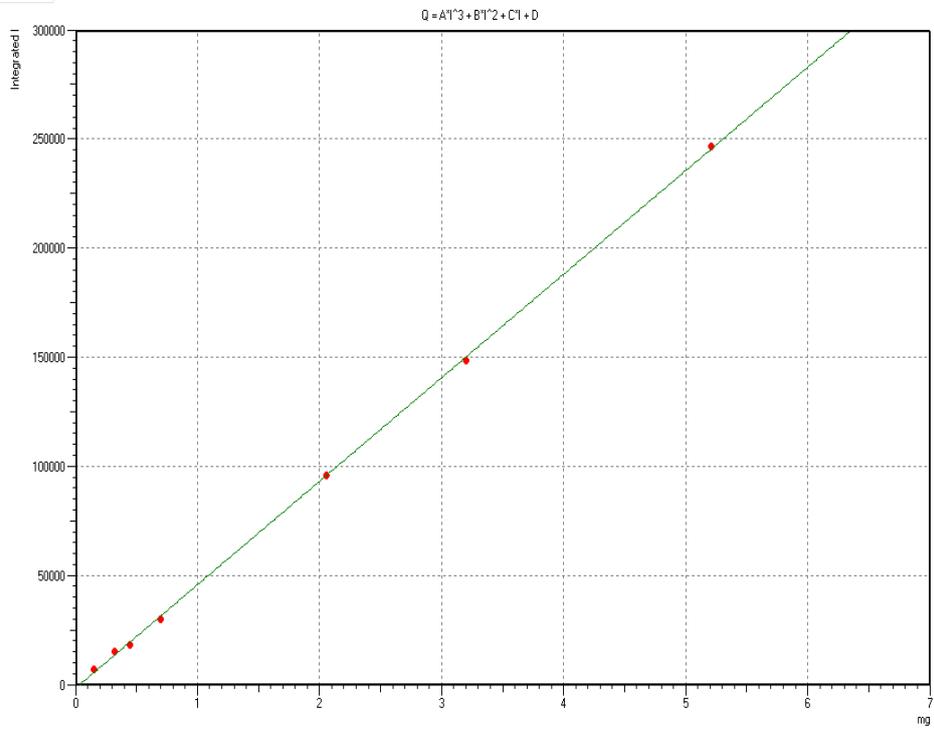
Accuracy: 0.02872

Max Dev. No.: 2

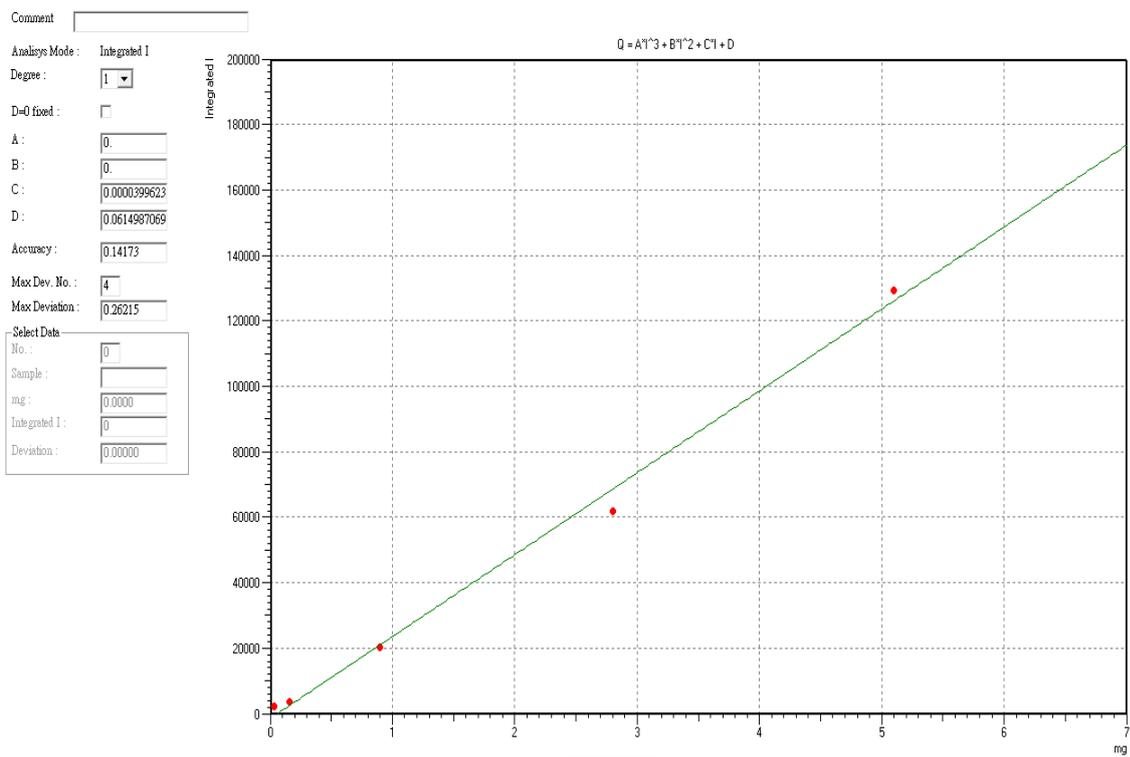
Max Deviation: 0.03714

Select Data

No.:	0
Sample:	
mg:	0.0000
Integrated I:	0
Deviation:	0.00000



圖十三 褐石綿檢量線

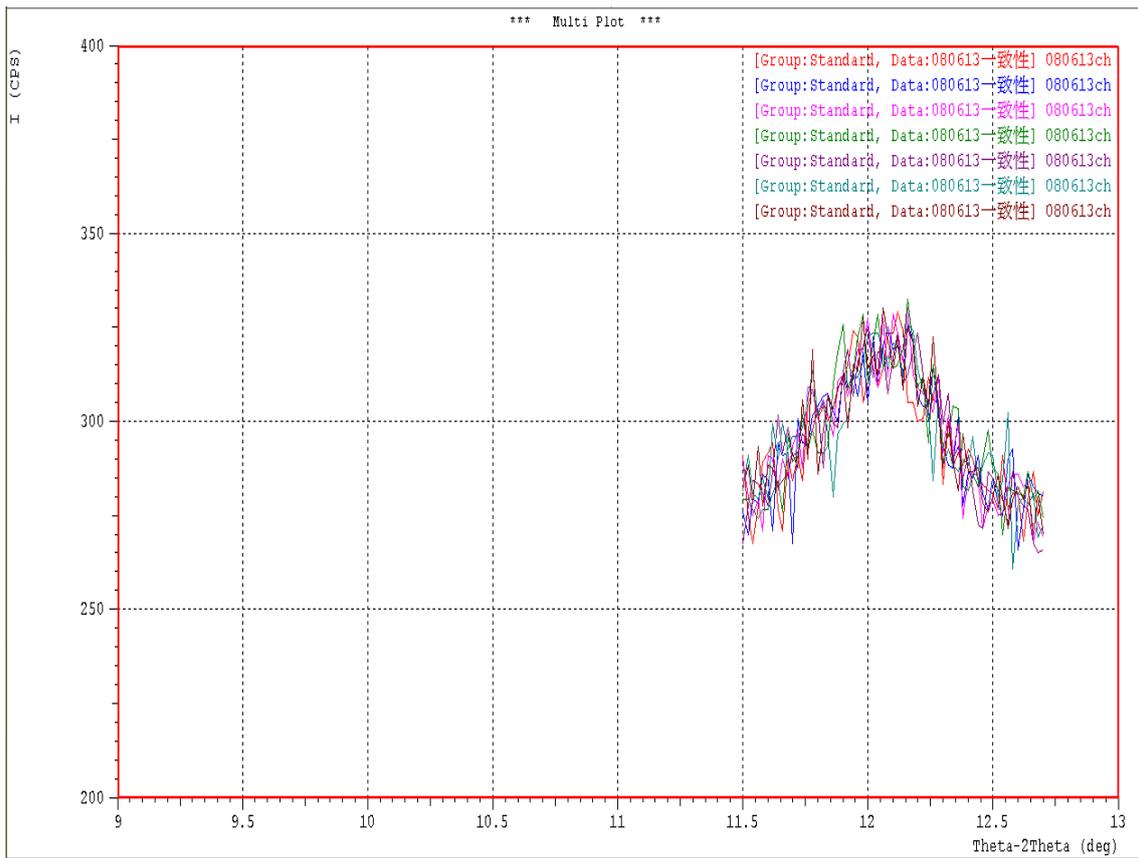


圖十四 青石綿檢量線

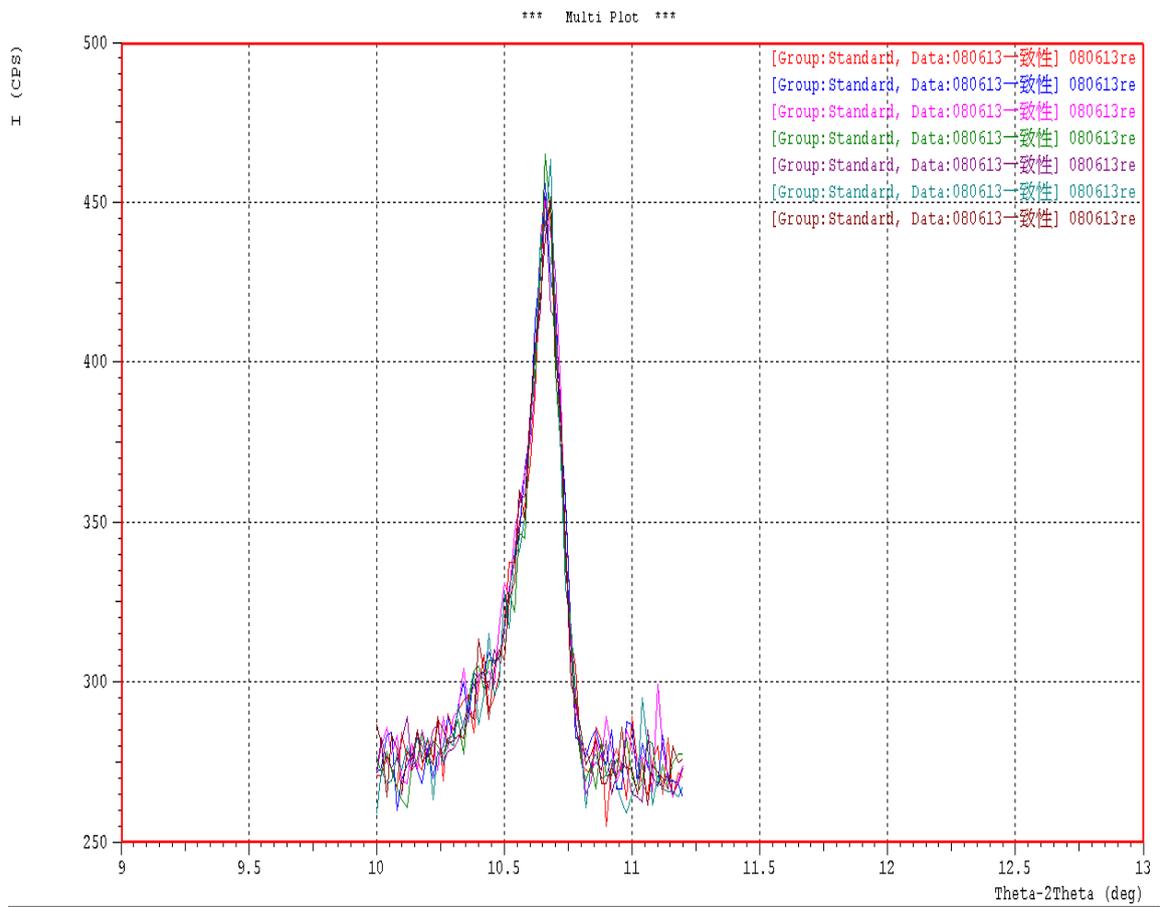
第五節 方法偵測極限

以白石綿、褐石綿及青石綿檢量線之最低點濃度進行 7 次重覆測定 (圖十五~圖十七)，所求得之波鋒面積，計算其平均值及標準差，以 1 倍標準偏差除以平均值乘上檢量線最低點濃度為偵測極限；3 倍標準偏差除以平均值乘上檢量線最低點濃度為方法偵測極限。本研究以各檢量線最低點重複分析 7 次的結果白石綿的偵測極限為 0.015 mg，方法偵測極限為 0.046 mg；褐石綿的偵測極限為 0.025 mg，方法偵測極限為 0.076 mg；青石綿的偵測極限為 0.010 mg，方法偵測極限為 0.030 mg (表八)。

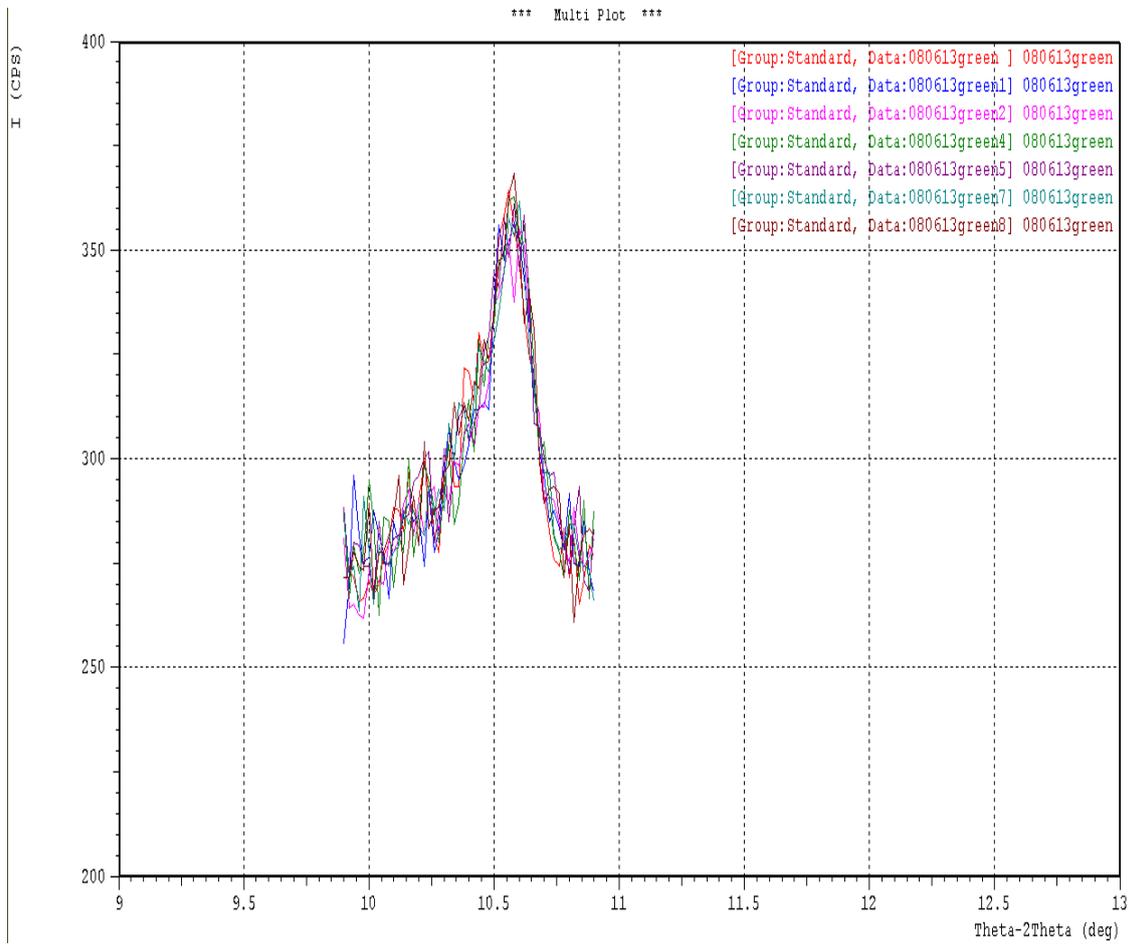




圖十五 白石綿重複七次的 X 光繞射圖譜



圖十六 褐石綿重複七次的 X 光繞射圖譜



圖十七 青石綿重複七次的 X 光繞射圖譜

表八 檢量線最低點其偵測極限比較

	白石綿(count)	mg	青石綿(count)	mg	褐石綿(count)	mg	
	1	1315	0.0929	1681	0.1767	2692	0.1349
	2	1718	0.0942	2025	0.1742	2814	0.1367
	3	1543	0.0964	1590	0.1643	2820	0.1325
次數	4	1773	0.1090	1399	0.1714	2614	0.1370
	5	2001	0.0913	1517	0.1731	2769	0.1308
	6	1276	0.0902	1456	0.1887	3088	0.1328
	7	1529	0.0914	1946	0.1700	2425	0.1348
平均值		1593	0.10	1659	0.17	2746	0.13
標準差		257.83	0.0065	241.710	0.0075	204.52	0.0023
變異係數(%)		16.18	6.83	14.57	4.33	7.45	1.70
LLD (mg)		0.015379616		0.0253573		0.009996246	
LOD (3LLD) (mg)		0.046138849		0.076071899		0.029988739	

第六節 蟻酸濃度

本研究選用蟻酸來進行不同濃度下的蟻酸處理分別為：0%、5%、10%、20%、40%，藉由不同濃度的蟻酸處理每種濃度各別製作三個樣本分別觀察。自然乾燥後並且使用五位數機密電子天平秤其後重，了解不同溫度下樣本的消化情況；加以 X 光繞射儀分析，了解在相同樣本中是否會因不同濃度蟻酸而影響石綿於樣本中含量。由乾燥後的濾紙可以看出（圖十八）在純水和 5%濃度蟻酸表面略呈黃色且粗糙量多，10%表面略黃但可以看出過濾表面較細緻，而濃度於 20%和 40%的蟻酸濃度無論表面光滑度、色澤目測上均相同。

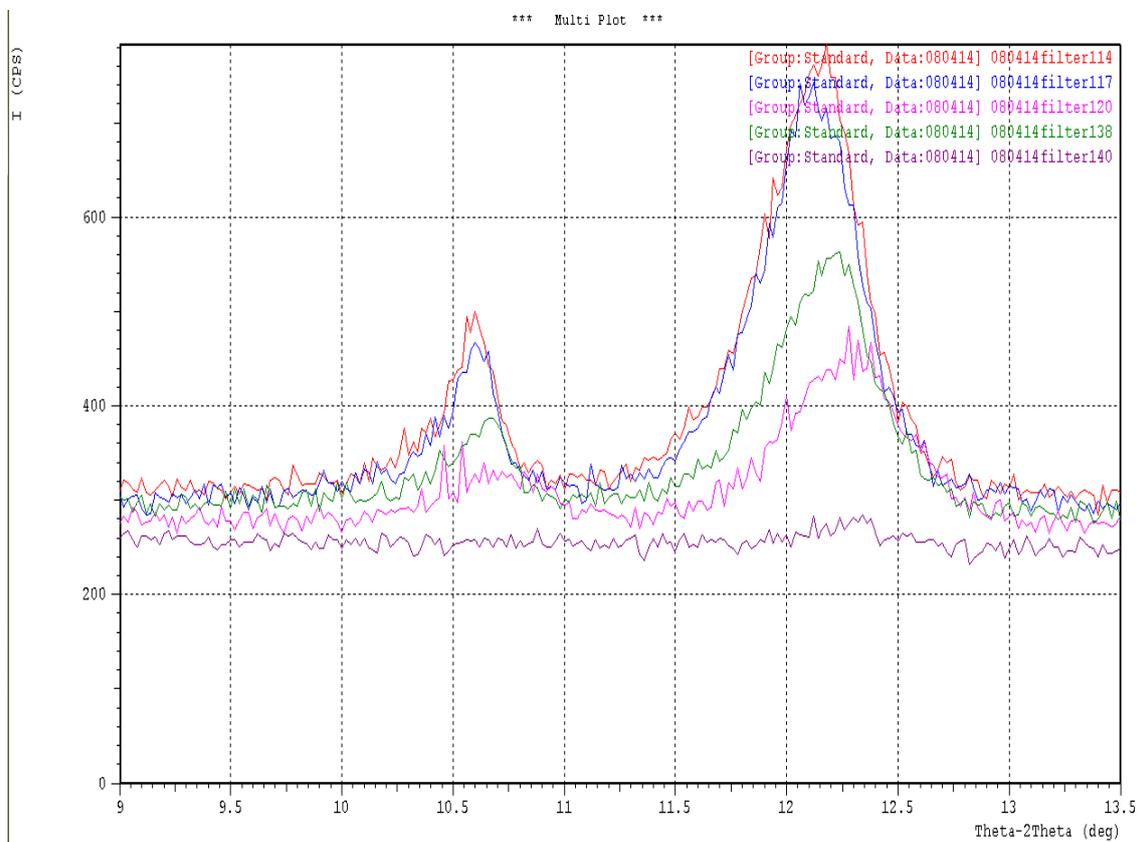
再由 X 光繞射儀針對樣本中圖譜上兩個波峰褐石綿 10.5° 與白石綿 12.1° 由上而下為 20%、40%、10%、5%、0%可以看出 20%與 40%雷同，但往後濃度越低波峰面積越小，表示樣本干擾還未去除，導致物質干擾晶格繞射強度，使樣本繞射強度降低（圖十九）。



圖十八 不同蟻酸處理自然乾燥後表面現象

(上排由左到右為純水、5%、10%；

下排由左到右為 20%和 40%蟻酸濃度)



圖十九 不同酸濃度下 X 光繞射儀繞射圖譜

(褐石綿 10.5° 與白石綿 12.1°)

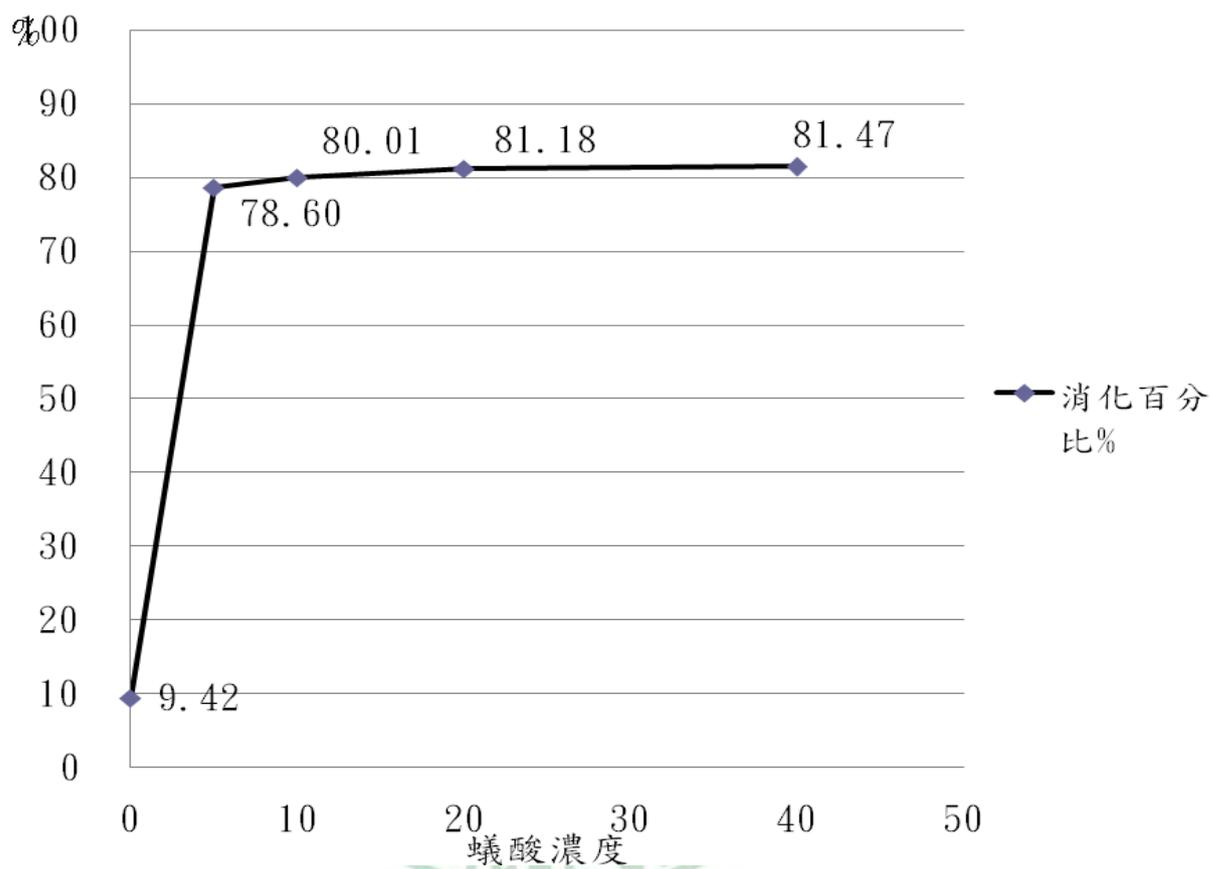
(由上而下為20%、40%、10%、5%、0%)

量化後我們可以得知消化百分比（%），即為原來約秤100mg去除多少量為消化百分比（%），由結果顯示蟻酸濃度20%與40%沒有差異且去除率都在80%以上，0%、5%、10%濃度越低消化百分比越不好（圖二十）。

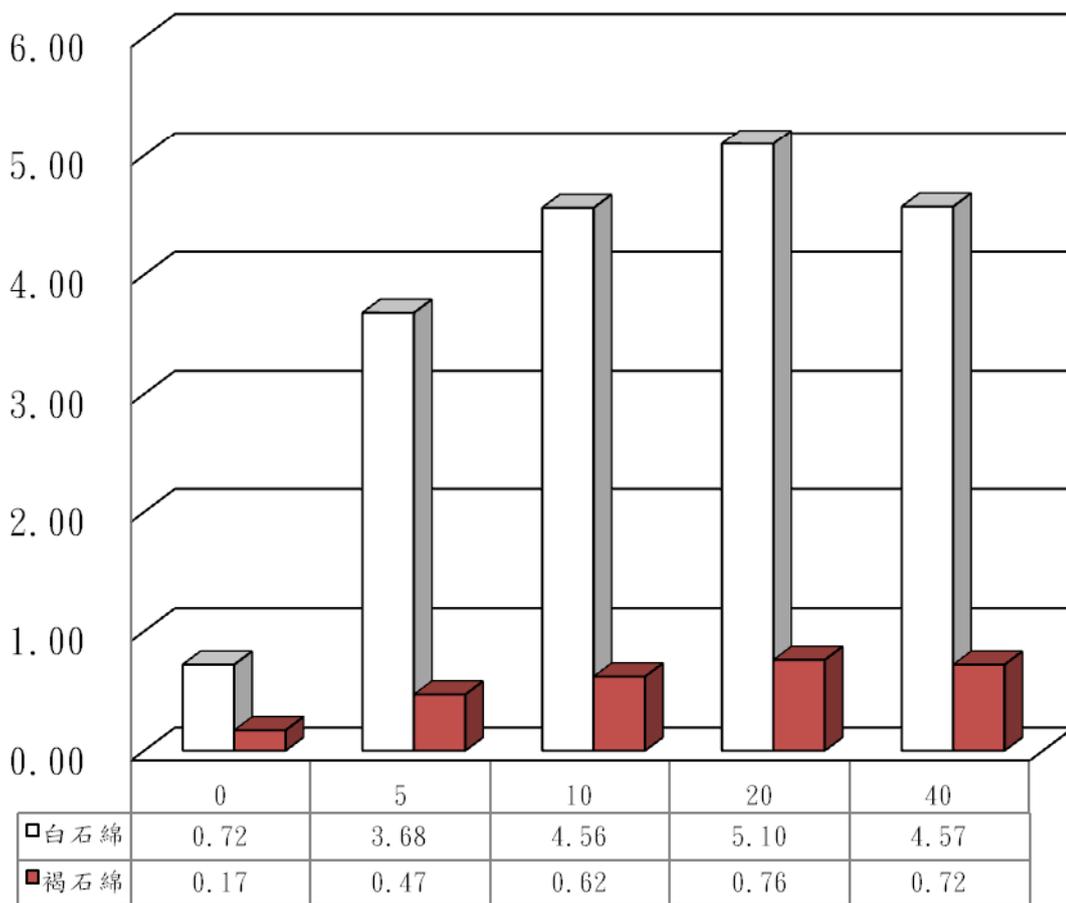
消化百分比（%）= $(1-(\text{過濾後自然乾燥重}-\text{空白濾紙重})/\text{原來未過濾前重量})\times 100\%$

褐石綿與白石綿定量的結果顯示在20%以下蟻酸濃度越強所得到的褐石綿與白石綿強度越強，而40%則得到相反的結果，可能是因為蟻酸濃度過強導致白石綿被消化掉了，而褐石綿則雷同（圖二十一）。

石綿含有率（%）= $(\text{檢量線算得各石綿重量}/\text{欲過濾粉末重量})\times 100\%$



圖二十 不同酸濃度的消化百分比

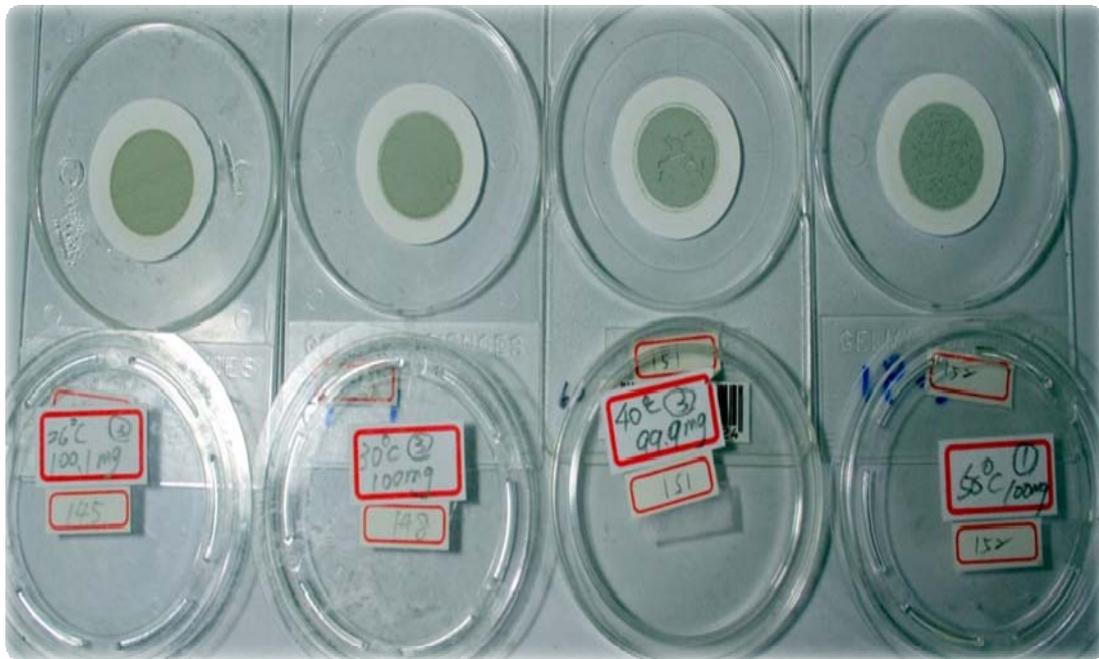


圖二十一 樣本中白石綿及褐石綿於不同蟻酸中定量結果

第七節 水浴溫度

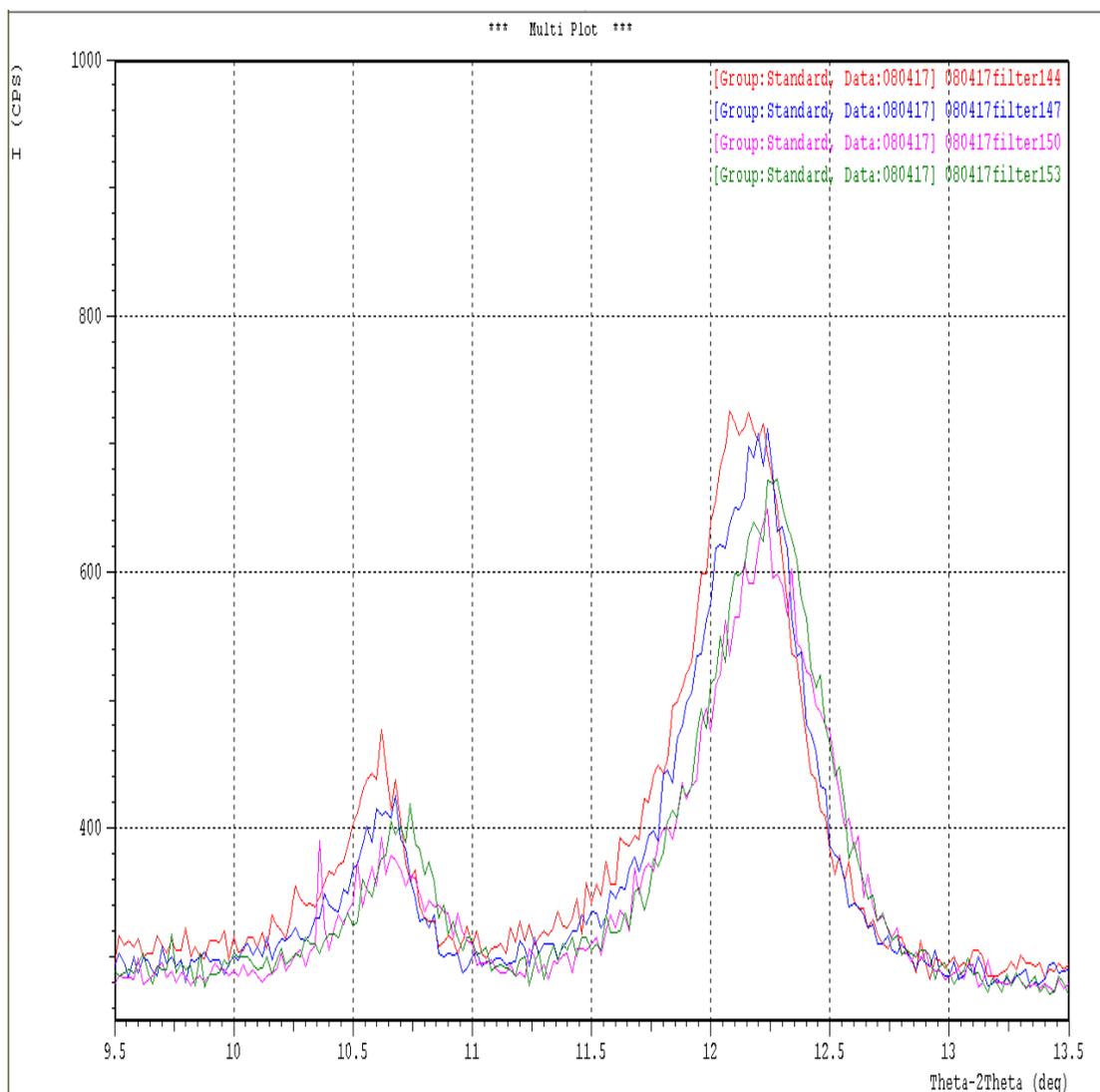
因參考日本 JIS A1481 分析方法中提到須在 30°C 水浴中操作而在不同溫度下，假設樣本分析物質會因不同溫度溶解度不同而影響自然乾燥後表面平整的關係，因此將溫度此參數分成 25°C、30°C、40°C、50°C 不同溫度下製作三個樣本分別觀察，在實驗當中以恆溫器控制水浴溫度並在外加一支酒精溫度計在確認水槽溫度是否正確。當水浴震盪後，以過濾器過濾，自然乾燥後並且使用五位數機密電子天秤秤其後重，了解不同溫度下樣本的消化情況；加以 X 光繞射儀分析，了解在相同樣本中是否會因不同水浴處理溫度而影響石綿於樣本中含量。結果中可知，25°C、30°C 的表面光滑沒有破碎而 40°C、50°C 溫度高，龜裂的情形更嚴重（圖二十二）。

再由 X 光繞射儀針對樣本中圖譜上兩個波峰褐石綿 10.5°與白石綿 12.1°由上而下為 25°C、30°C、40°C、50°C 可以看出 26°C 所得到的波峰面積最大溫度越高波峰面積越小，推測是因溫度造成非結晶物質過濾去除後自然乾燥造成表面不平整而影響分析強度（圖二十三）。



圖二十二 不同水浴溫度下表面比較

(由左向右為25°C、30°C、40°C、50°C)



圖二十三 不同水浴溫度下 X 光繞射儀繞射圖譜

(褐石綿 10.5° 與白石綿 12.1°)

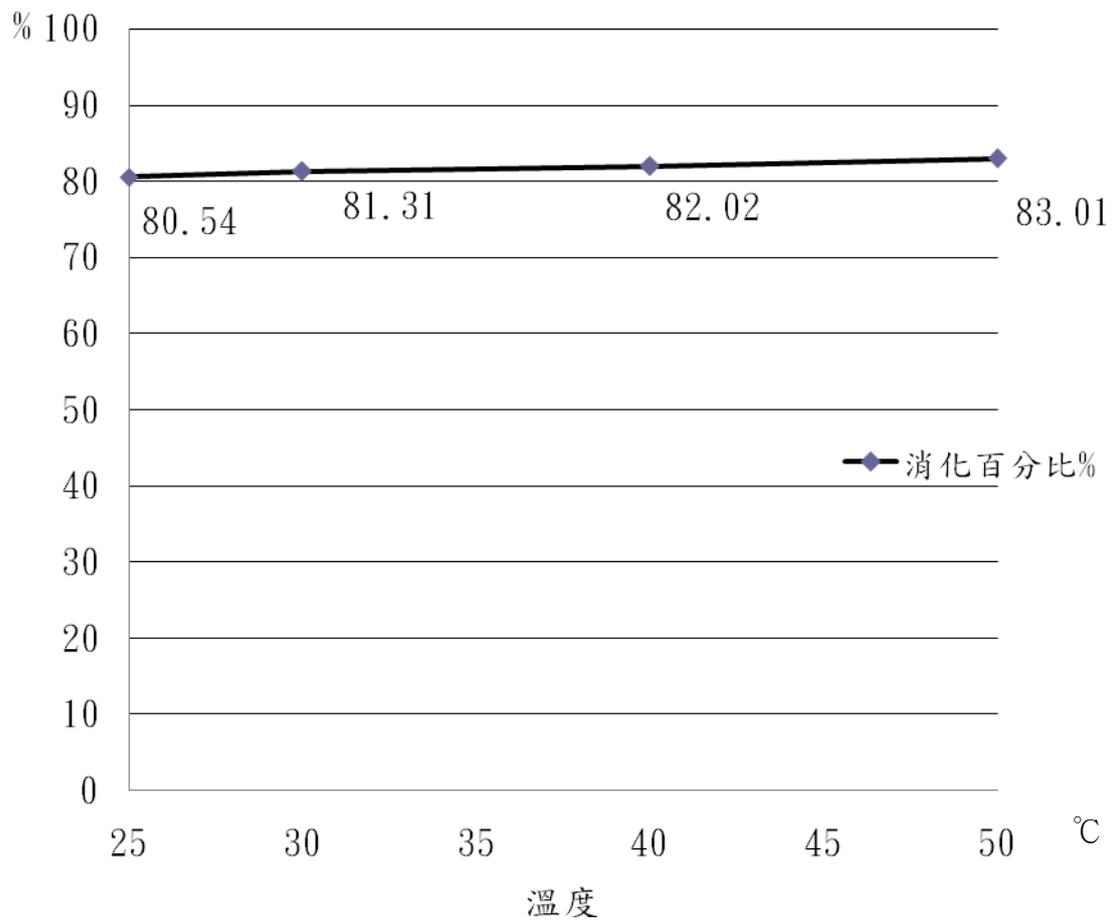
(由上而下為 25°C 、 30°C 、 40°C 、 50°C)

量化後我們可以得知消化百分比(%)，即為原來約秤100mg去除多少量為消化百分比(%)，以相同20%蟻酸濃度處理發現消化百分比都有在80%以上，溫度越高消化百分比有越好的趨勢(圖二十四)。

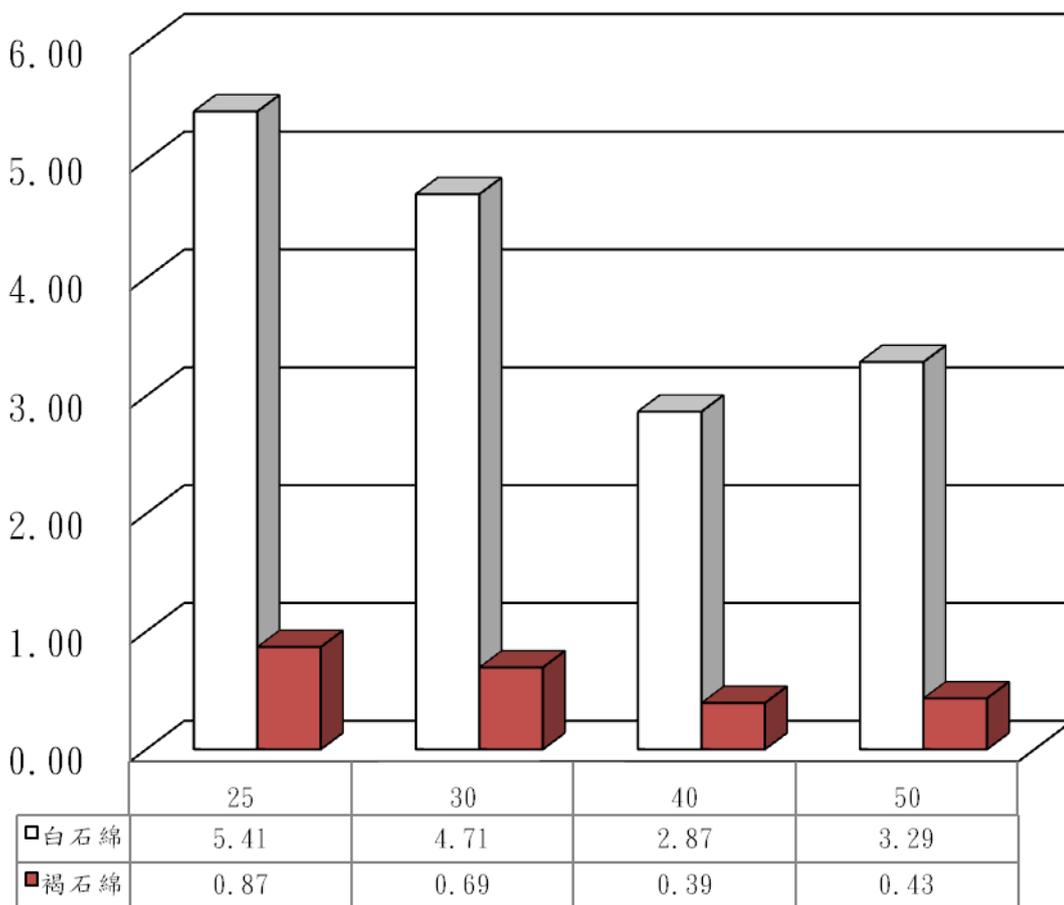
消化百分比(%)=(1-(過濾後自然乾燥重-空白濾紙重)/原來未過濾前重量)×100%

褐石綿與白石綿定量的結果顯示在25°C下處理可以得到最佳的的褐石綿與白石綿強度，而40°C及50°C和本研究的最佳分析溫度有相當大程度的差距，更再度證明表面不平整所導致的差異，因為白石綿、青石綿、褐石綿可被分解的溫度皆在600°C以上，故不可能因溫度關係而使樣本量減少，推估是因表面不平整導致。所以本方法乃推薦用25°C水浴處理(圖二十五)。

石綿含有率(%)=(檢量線算得各石綿重量/欲過濾粉末重量)×100%



圖二十四 不同水浴溫度下過濾自然乾燥後的消化百分比

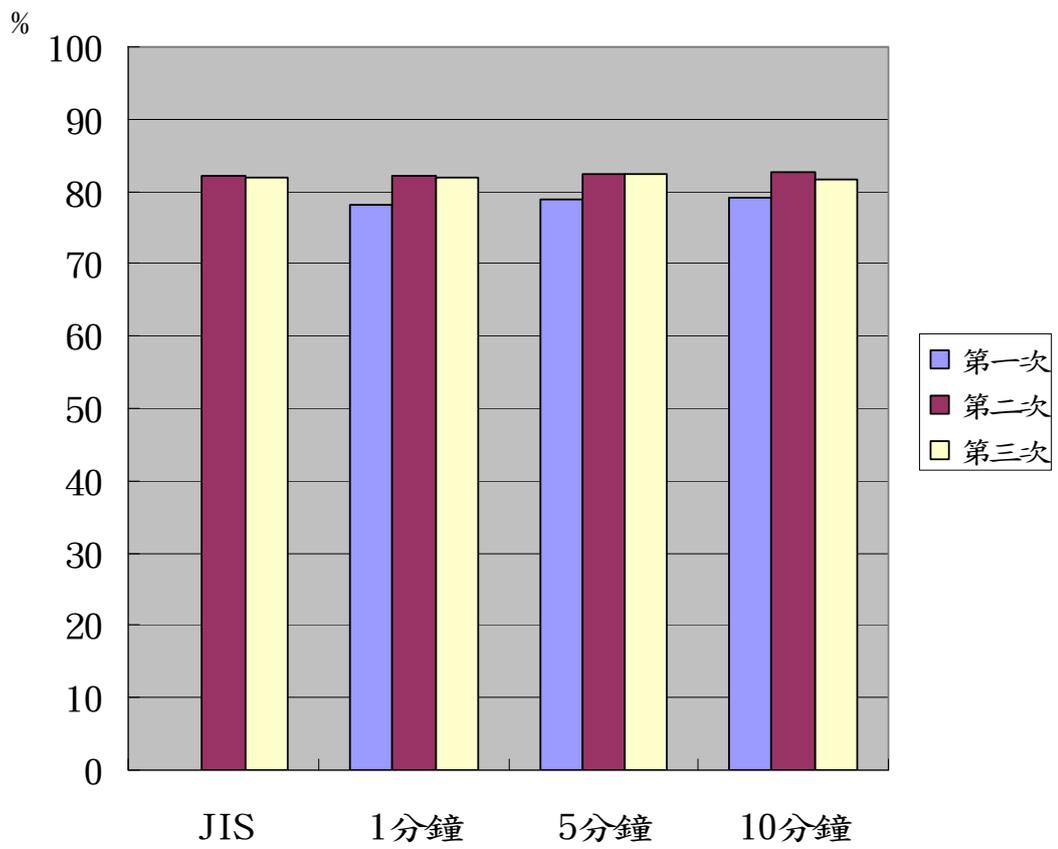


水浴溫度 $^{\circ}\text{C}$

圖二十五 樣本中白石綿及褐石綿於不同溫度處理的含有率

第八節 振盪處理

因參考日本 JIS A1481 分析方法中提到須以超音波震盪器一分鐘後，以手動持續搖動 30 秒後停置 1 分 30 秒，六次循環後施以 25mm 過濾器在聚四氟乙烯表覆玻璃纖維濾紙 (T60A20) 上，等候自然乾燥後處理。本研究考慮震盪時間是否足夠？且手動搖晃是否更會因不同人為操作、不同時間、不同力道造成誤差較大的情形？因此將震盪時間此參數分成震盪 10 分鐘後停置 12 分鐘；震盪 5 分鐘後停置 12 分鐘；震盪 1 分鐘後停置 12 分鐘；原來分析方法震盪 1 分鐘後手動持續搖動 30 秒後停置 1 分 30 秒，六次循環等四組。不同震盪時間下製作三個樣本，自然乾燥後並且使用五位數機密電子天秤秤其後重，了解不同溫度下樣本的消化情況；加以 X 光繞射儀分析，了解在相同樣本中是否會因不同震盪時間而影響石綿於樣本中含量。消化百分比來看各處理步驟都可達到八成的去除效果 (圖二十六)。若由定量後石綿分析含有率及穩定性來看是以震盪 10 分鐘後停置 12 分鐘過濾下的條件為最佳 (表九)。



圖二十六 不同時間下不同震盪處理消化百分比

表九 三次不同時間下不同震盪時間處理比較

	原來條件		1 分鐘		5 分鐘		10 分鐘	
	白石綿	褐石綿	白石綿	褐石綿	白石綿	褐石綿	白石綿	褐石綿
第一次								
石綿含有率(%)平均值	-	-	3.92	0.55	3.70	0.54	4.76	0.69
標準差	-	-	0.45	0.06	0.79	0.10	0.48	0.10
CV%	-	-	11.47	10.01	21.44	17.78	10.13	14.57
第二次								
石綿含有率(%)平均值	2.95	0.43	4.16	0.51	4.81	0.67	5.07	0.66
標準差	0.97	0.08	0.49	0.06	1.26	0.15	0.36	0.05
CV%	32.91	19.60	11.73	11.20	26.26	22.79	7.06	7.38
第三次								
石綿含有率(%)平均值	4.92	0.61	4.33	0.55	4.86	0.62	5.72	0.82
標準差	1.44	0.11	0.79	0.09	1.30	0.12	0.26	0.10
CV%	29.20	18.67	18.22	16.80	26.84	19.20	4.49	11.94
總								
石綿含有率(%)平均值	3.94	0.52	4.13	0.54	4.46	0.61	5.18	0.72
標準差	1.54	0.13	0.55	0.06	1.14	0.12	0.53	0.10
CV%	39.12	25.12	13.19	12.00	25.59	19.73	10.29	14.46

第九節 環境樣本石綿含有率

環境樣本石綿含有率分析，依照上述找尋的最佳分析條件分析環境中產品，相關結果，石綿瓦（0.22~0.87%）、學校舊隔板（0.31%）及某大樓建材（0.20%）都含有褐石綿，而石綿瓦含有（2.28%~5.41%）白石綿（表十）。



表十 環境樣本分析結果

環境樣本	白石綿%	褐石綿%	青石綿%
石綿瓦 台中大里	5.41	0.87	N.D
石綿瓦 彰化鹿港	2.28	N.D	N.D
石綿瓦 宜蘭三星	2.73	N.D	N.D
石綿瓦 宜蘭天送碑	2.99	0.22	N.D
學校舊隔板	N.D	0.31	N.D
H606碳酸鈣板	N.D	N.D	N.D
粉筆紅藍綠	N.D	N.D	N.D
日本國土交通大臣認定無石綿矽酸鈣板	N.D	N.D	N.D
日本欣蘭A&AM 矽酸鈣板	N.D	N.D	N.D
國浦矽酸鈣板	N.D	N.D	N.D
HC(卜興)矽酸鈣板	N.D	N.D	N.D
優特美欣805(無色料)	N.D	N.D	N.D
優特美欣530(粉紅紋)	N.D	N.D	N.D
優特美欣510(藍色紋)	N.D	N.D	N.D
爽身粉	N.D	N.D	N.D
某大樓建材	N.D	0.20	N.D

第五章 討論

本研究參考2006年日本建立的石綿含有率分析方法JIS A1481，希望能加以改進並找尋最佳的分析參數條件，而JIS A1481已經大幅改善NIOSH 9000，耗時、費力、高花費且不環保的分析方法，而本研究則是希望更能達到精準、省時的成果。

本研究找出的最佳分析條件為，使用經100mesh分析篩過的細粒徑，取100mg樣本並以20%蟻酸20ml加入40ml的DI水後處理、在25°C下水浴震盪10分鐘後停置12分鐘，最後再以25mm過濾器過濾，自然乾燥，而後秤重即可上X光繞射儀分析。

本研究中的環境樣本，石綿瓦（0.22~0.87%）、學校舊隔板（0.31%）及某大樓建材（0.20%）都含有褐石綿，而石綿瓦含有（2.28%~5.41%）白石綿。其中石綿瓦、隔板與大樓建材均是建材中常見的產品。石綿瓦，經由戶外的風吹日曬雨淋，裡面所含的石綿纖維更可能因風化現象而產生；隔板與防火材是應用在室內的建材，而人一天有超過八成的活動都處於室內，一旦這些材質釋出石綿纖維時，這些纖維長時間在同一個空間中持續的飛揚對人體的健康危害更是加劇，我們首先需要優先注意的是勞工安全和防護，在施工的過程中，包括：安裝、拆卸、去除、清掃、切割、敲打等等工作行為皆會使得石綿纖維飛揚。當在處理這些含有石綿的產品時，個人及環境的防護，必須達到個人全身性防護及內在環境

的包覆以負壓處理而不造成外在環境的危害。

我國雖然有有害事業廢棄物處理法規範石綿的廢棄物處理規則，但在人員暴露方面應如何處理的相關資料非常少。而這些石綿纖維直到被人經由呼吸進入肺臟進而危害人體後果不堪設想，我們不得不好好注意這方面。而本研究則可提供相關產品含有石綿的百分比、種類及其他材料的資訊，對於產品管控及勞工和居民的健康上幫助很大。

在本研究為了提昇儀器的感度也做了以下的一些控制與儀器的升級：（一）NaI片的更換：在本研究初期，乃至日本習得JIS A1481實際作法，而本研究當時的儀器與日本的儀器比較發現感度略低，找出的結果是因為NaI片受潮或老化的原因而導致片面泛黃變質，影響感度，而NaI本身的目的為去除分析的 $k\beta$ 波。（二）溫度的控制：在本研究開始時，發現基線當長時間分析時，基線出現較明顯的差異，當再增加一部冷卻器時並將溫度控制在 $23^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 時基線穩定。（三）石墨單光器：本附件是位於偵測器前方的一個元件，主要目的是增強X光繞射儀在低角度時的感度。（四）旋轉載盤：一般的X光繞射儀並沒有旋轉載盤，所以其分析的面積較有限制，本研究加裝旋轉載盤即可達到整張濾紙均勻掃描的目的。

第六章 結論與建議

第一節 結論

定性分析，本研究樣本需 100cm^2 大小，以 $5^\circ\sim 70^\circ$ 分析後以ENVE軟體中的資料庫判定比對是否含有石綿。

定量分析，本研究試圖改良及驗證JIS A1481方法的酸濃度、水浴溫度、振盪處理過程，並且比較應用25mm過濾器，結果中發現到以20%蟻酸濃度處理、在 25°C 水浴下震盪10分鐘後停置12分鐘，以25mm過濾器過濾後自然乾燥再以X光繞射儀做定量分析即可。

本研究中石綿瓦、大樓建材及學校舊隔板含有程度不等的石綿，一方面這些產品都充斥於我們日常生活中，石綿瓦為戶外暴露影響人體吸入的機會較小，但是石綿瓦在台灣是第二大量的石綿相關產品（煞車來令片為第一），加上老舊石綿瓦暴露於戶外風化作用下，導致居民暴露於石綿纖維而吸入體內造成不可回復的傷害。

室內建材如矽酸鈣板與某大樓建材上，本次雖然在矽酸鈣板取得的樣本都是台灣與日本生產的100%無石綿的產品做分析，實際分析也沒有發現石綿，但馬來西亞、泰國及中國生產的矽酸鈣板在之前的研究中也曾經發現含有石綿，我們不得不加以小心。而在某大樓建材上發現有褐石綿。

第二節 建議

先進國家均對於含有石綿產品上，不論是製造、切割、安裝、拆卸及廢棄物處理都有良好的個人與環境防護的規劃與處理，而我國只有規範廢棄物處理、產品的含量及空氣監測方法，在相關人員及環境在施工時的防護措施實為少見。

石綿已經是討論半個世紀的一個重大議題，各個先進國家目前都對於相關產品的資訊做出詳細的清單，而我國對於含有石綿的產品並沒有檢測方法。希望可以藉由本研究來對於含有石綿產品來當成分析方法，進而可以應用本方法來建立我國相關產品的石綿含量，並告知民眾如何面對相關產品。附上環境中遇到不同型態的石綿產品時，如何處置及監控的方式（附錄一）

第七章 參考文獻

1. IARC (International Agency for Research on Cancer). Asbestos. In: IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemical to Man. Some Inorganic and Organometallic Compounds, Vol. 2. World Health Organization, Lyon, France, 1973; pp. 17-47.
2. Asbestos Product Industry Prepared by Asbestos Information Association 1745 Jefferson Davis Hwy, Arlington, VA 22202.
3. Craighead JE, Abraham JL, Churg A, Green FH, Kleinerman J, Pratt PC, et al. The pathology of asbestos-associated diseases of the lungs and pleural cavities: diagnostic criteria and proposed grading schema. Report of the Pneumoconiosis Committee of the College of American Pathologists and the National Institute for Occupational Safety and Health. Archives of Pathology & Laboratory Medicine 1982;106(11):544-96.
4. 藍福良、石東生：石綿暴露危害。工業安全衛生 1982；42：76-81。
5. Glog D. Asbestos--can it be used safely? British Medical Journal Clinical Research Ed. 1981;282(6263):551-3.

6. Kirk O, Encyclopedia of Chemical Technology, 3rd ., Volumes 1-26. New York, NY: John Wiley and Sons, 1978-1984, p3 (78)278.
7. 台灣化學品製造廠商目錄，台灣化工資訊服務社，2006。
8. 行政院環境保護署公告。行政院公報 2005; 11(178)。
9. 張火炎、王榮德、張錦輝：台灣地區石綿工廠工業衛生普查。中華衛誌1988;8:167-71。
10. 王光聖、余榮彬、葉文裕、陳春萬、傅武雄：煞車來令業者石綿作業環境輔導改善。勞工安全衛生研究季刊 2002;10(2):98-108。
11. Amacher DE, Alarif A, Epstein SS. The dose-dependent effects of ingested chrysotile on DNA synthesis in the gastrointestinal tract, liver, and pancreas of the rat. Environmental Research 1975;10(2):208-16.
12. Holt PF, Mills J, Young DK. The Early Effects of Chrysotile Asbestos Dust on the Rat Lung. Journal of Pathology & Bacteriology 1964;87:15-23.
13. Bolton RE, Davis JM, Lamb D. The pathological effects of prolonged asbestos ingestion in rats. Environmental Research 1982;29(1):134-50
14. Wagner JC. Asbestosis in experimental animals. British Journal

- of Industrial Medicine 1963;20:1-12.
15. Wagner JC, Berry G, Skidmore JW, Timbrell V. The effects of the inhalation of asbestos in rats. British Journal of Cancer 1974;29(3):252-69.
 16. IARC (International Agency for Research on Cancer). Asbestos. In: IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemical to Humans. Overall Evaluations of Carcinogenicity: An Updating of IARC Monographs, Volumes 1 to 42, Supplement 7. World Health Organization, Lyon, France, 1977; pp. 106-116.
 17. IARC (International Agency for Research on Cancer). IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemical to Man. Asbestos, Volume 14. World Health Organization, Lyon, France, 1987; pp. 42-106.
 18. ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) Toxicological Profile for Asbestos (Update). Atlanta, GA, US Department of Health and Human Services, Public Health Service, 1995.
 19. Stanton MF., et al. Relation of particle dimensions to Carcinogenicity in amphibole asbestoses and other fibrous

- minerals. J Natl Cancer Inst 1981; 67: 965-975.
20. ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). Asbestos, 2001.
21. NTP (National Toxicology Program). Toxicology and carcinogenesis studies of Amosite asbestos in F344/N Rats. Technical Report Series No. 279. U.S. Department of Health and Human Services, Research Triangle Park, NC. 1988b.
22. NTP (National Toxicology Program). Toxicology and carcinogenesis studies of tremolite in F344/N Rats. Technical Report Series No. 279. U.S. Department of Health and Human Services, Research Triangle Park, NC. 1988a.
23. Schneider U, Maurer RR. Asbestos and embryonic development. Teratology 1977;15(3):273-9.
24. Gross P, Harley RA, Swinburne LM, Davis JM, Greene WB. Ingested mineral fibers. Do they penetrate tissue or cause cancer? Archives of Environmental Health 1974;29(6):341-7.
25. ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) Toxicological Profile for Asbestos (Update). Atlanta, GA, US Department of Health and Human Services, Public Health Service,

- 1993.
26. Timbrell V. Deposition and retention of fibres in the human lung. *Annals of Occupational Hygiene* 1982;26(1-4):347-69.
27. Evans JC, Evans RJ, Holmes A, Hounam RF, Jones DM, Morgan A, et al. Studies on the deposition of inhaled fibrous material in the respiratory tract of the rat and its subsequent clearance using radioactive tracer techniques. 1. UICC crocidolite asbestos. *Environmental Research* 1973;6(2):180-201.
28. Morgan A, Evans JC, Evans RJ, Hounam RF, Holmes A, Doyle SG. Studies on the deposition of inhaled fibrous material in the respiratory tract of the rat and its subsequent clearance using radioactive tracer techniques. *Environmental Research* 1975;10(2):196-207.
29. Carter RE, Taylor WF. Identification of a particular amphibole asbestos fiber in tissues of persons exposed to a high oral intake of the mineral. *Environmental Research* 1980;21(1):85-93.
30. Pontefract RD, Cunningham HM. Letter: Penetration of asbestos through the digestive tract of rats. *Nature*

1973;243(5406):352-3.

31. Cunningham HM, Moodie CA, Lawrence GA, Pontefract RD. Chronic effects of ingested asbestos in rats. *Archives of Environmental Contamination & Toxicology* 1977;6(4):507-13.
32. Tossavainen A, Karjalainen A, Karhunen PJ. Retention of asbestos fibers in the human body. *Environmental Health Perspectives* 1994;102 Suppl 5:253-5.
33. Musselman RP, Miiller WC, Eastes W, Hadley JG, Kamstrup O, Thevenaz P, et al. Biopersistences of man-made vitreous fibers and crocidolite fibers in rat lungs following short-term exposures. *Environmental Health Perspectives* 1994;102 Suppl 5:139-43.
34. Cunningham HM, Pontefract RD. Placental transfer of asbestos. *Nature* 1974;249(453):177-8.
35. Seshan K. How are the physical and chemical properties of chrysotile asbestos altered by a 10-year residence in water and up to 5 days in simulated stomach acid? *Environmental Health Perspectives* 1983;53:143-8.
36. Hallenbeck WH, Patel-Mandlik KJ. Presence of fibers in the

- urine of a baboon gavaged with chrysotile asbestos.
Environmental Research 1979;20(2):335-40.
37. Coin PG, Roggli VL, Brody AR. Deposition, clearance, and translocation of chrysotile asbestos from peripheral and central regions of the rat lung. Environmental Research 1992;58(1):97-116.
38. Cunningham HM, Pontefract RD, O'Brien RC. Quantitative relationship of fecal asbestos to asbestos exposure. Journal of Toxicology & Environmental Health 1976;1(3):377-9.
39. Boatman ES, Merrill T, O'Neill A, Polissar L, Millette JR. Use of quantitative analysis of urine to assess exposure to asbestos fibers in drinking water in the Puget Sound region. Environmental Health Perspectives 1983;53:131-41.
40. 職業醫學繼續教育通訊（三）：石綿毒性。中華職業醫學雜誌 1997;4(2):117-126。
41. 劉紹興、陳永煌、許居誠、顧天倫、吳聰能：石綿塵肺症病例報告。中華職業醫學雜誌 1996;3(4):165-170。
42. 村井嘉寬：肺内石綿纖維からみた石綿関連疾患。岩石矿物科学 2006;35:34-39。

43. Browne K. Asbestos-related disorders. In: Parkes WR, ed. Occupational lung disorders. (3rd ed). Oxford: Butterworth-Heinemann Ltd, 1994:411-504.
44. US EPA. Ambient Water Quality Criteria for Asbestos. Prepared by the Office of Water Regulation and Standards, Criteria and Standards Division, Washington, DC; Office of Research and Development, Environmental Criteria and Assessment Office, Cincinnati, OH; Carcinogen Assessment Group, Washington, DC; and Environmental Research Laboratories, Corvallis, OR 1980; EPA-440/5-80-022.
45. Alden HS and Howell WM. The asbestos corn. Arch Dermatol Syphilol 1944; 49:312-314.
46. ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). Asbestos, In: Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices, 6th ed. ACGIH, Cincinnati, OH, 89-94. 2001
47. Schulz CO. Silicon and silicates, including asbestos. In: Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, 4th ed., Volume II, Part E, GD Clayton and Clayton FE, Eds. New York, John Wiley

- & Sons, pp. 840-864.
48. Wagner JC, Newhouse ML, Corrin B, Rossiter CE, Griffiths DM. Correlation between fibre content of the lung and disease in east London asbestos factory workers. [see comment]. *British Journal of Industrial Medicine* 1988;45(5):305-8.
49. Selikoff IJ, Hammond EC, Seidman H. Mortality experience of insulation workers in the United States and Canada, 1943--1976. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1979;330:91-116.
50. Dusinska M, Collins A, Kazimirova A, Barancokova M, Harrington V, Volkovova K, et al. Genotoxic effects of asbestos in humans. *Mutation Research* 2004;553(1-2):91-102.
51. 行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，勞工作業環境空氣中有害物採樣分析建議方法 2381，行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，臺北市，1992。
52. NIOSH method 9000. In: NIOSH manual of analytical methods. 4th ed. Supplement. Cincinnati, OH: National Institute for Occupational Safety and Health, 1994.
53. JIS A1481. In: Japanese Standards Association. Determination of asbestos in building material products, 2006.

附錄一 工作與監控分級

	第一級	第二級	第三級	第四級
定義	去除熱系統以隔離 (TSI) 與表面物質 (SM) 包含大於 1% 石綿	去除 TSI 或 SM 物質，包含大於 1% 石綿	維持與恢復操作時打亂的物質，包含大於 1% 石綿	家務與管理人員從第一、二、三級活動中清理灰塵、廢棄物與垃圾
侷限區域	必要的(強制的警告標誌)	必要的(強制的警告標誌)	必要的(強制的警告標誌)	必要的(強制的警告標誌)
有能力的人	<ul style="list-style-type: none"> ■ 必須在位置上 ■ 必須輪班時檢查 ■ 必須參加管理員的訓練 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 必須在位置上 ■ 必須時常檢查 ■ 必須參加管理員的訓練 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 必須在位置上 ■ 必須時常檢查 ■ 必須參加操作與維修訓練 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 必須在位置上 ■ 必須時常檢查 ■ 必須參加操作與維修訓練
空氣監測	<ul style="list-style-type: none"> ■ 如果最初沒有負面的暴露評估 (NEA) ■ 如果平常沒有使用正壓的口罩 ■ 額外的狀況改變 <p>Note: 結果如果 < 最小容許暴露濃度 (PELs)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 如果最初沒有 NEA ■ 如果平常沒有使用正壓的口罩 ■ 額外的狀況改變 <p>Note: 結果如果 < 最小容許暴露濃度 (PELs)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 如果最初沒有 NEA ■ 週期的正確預報如果 > PELs ■ 額外的狀況改變 <p>Note: 結果如果 < 最小容許暴露濃度 (PELs)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 如果最初沒有 NEA ■ 週期的正確預報如果 > PELs ■ 額外的狀況改變 <p>Note: 結果如果 < 最小容許暴露濃度 (PELs)</p>
醫學監測	<p>如有此狀況，則必須監測</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 戴負壓口罩 ■ >30 工作天/年 	<p>如有此狀況，則必須監測</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 戴負壓口罩 ■ >30 工作天/年 	<p>如有此狀況，則必須監測</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 戴負壓口罩 ■ >30 工作天/年 	<p>如有此狀況，則必須監測</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 戴負壓口罩 ■ >PEL 多於 30 工作天/年
口罩	強制所有第一級的工作	<p>如有此狀況，則強制</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 移除損傷 	<p>如有此狀況，則強制</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 無 NEA 	<p>如有此狀況，則強制</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 監測管制區

		<ul style="list-style-type: none"> ■ 無 NEA ■ >PEL ■ 弄乾後移除 (除了屋頂外) ■ 在緊急狀況下 	<ul style="list-style-type: none"> ■ TSI 或 SM 弄亂 ■ >PEL ■ 弄乾後移除 (除了屋頂外) ■ 在緊急狀況下 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 域 ■ 如果>PEL ■ 在緊急狀況下
保護衣與裝備	<p>如有此狀況，則監測所有工作</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ >25 linear or 10 square feet of TSI ■ 移除 SM ■ 無 NEA ■ >PEL 	<p>如有此狀況，則監測所有工作</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 無 NEA ■ >PEL 	<p>如有此狀況，則監測所有工作</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 無 NEA ■ >PEL 	<p>如有此狀況，則監測所有工作</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 無 NEA ■ >PEL
訓練	<p>石綿減少工作者方針與 EPA 鑑定計畫模型相同</p>	<p>如果重要的關卡監測與 MAP 方針相同，則特別的工作訓練與工程控制是必須使用的</p>	<p>對於維持與管理人員有相同的 AHERA 方針</p>	<p>對於維持與管理人員有相同的 AHERA 方針</p>
職員與清除汙染裝備	<p>如果>25 linear or 10 square feet TSI or SM removal 監測</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 全部的 decon unit ■ 如果一連串載明的準備無適用的，則其他準備設施被接受，準備室、淋浴間、清潔室等一連串必 	<p>如果>PEL 或沒有 NEA</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 準備室/區域監測 ■ 不透水布料監測 ■ 容納空間必須清理 ■ 在離開前必須使用 HEPA vacuum 清理工作衣 ■ 必須去除所有個人保護裝備(PPE) 	<p>如果>PEL 或沒有 NEA</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 準備室/區域監測 ■ 不透水布料監測 ■ 容納空間必須清理 ■ 在離開前必須使用 HEPA vacuum 清理工作衣 ■ 必須去除所有個人保護裝備(PPE) 	<p>從第一級與第二級活動結束後清理沾附在表面的石綿或 TSI</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 準備室/區域監測 ■ 布料監測 ■ 容納空間必須清理 ■ 在離開前必須使用 HEPA vacuum 清理工作衣 ■ 必須去除所有個人保護

- 要的空間
- 午餐區域
Note: 必要的消毒過程
如果 < 25 linear or 10 square feet TSI or SM removal
- 準備室/區域 監測
- 不透水布料 監測
- 容納空間必須清理
- 必須去除所有個人保護裝備(PPE)
- 必須進入限制區域經由準備室/decon 區域
- 在工作場所不能抽菸
- Note: 若清除灰塵、廢棄物與垃圾時第一、二、三級活動持續進行，則規定適用此活動規範

- | | | | | |
|-----------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 一般的工作習慣與工程控制
依照 PEL 對工作習慣與工程控制 | ■ 濕式作業 | ■ 濕式作業 | ■ 濕式作業 | ■ 濕式作業 |
| | ■ HEPA vacuum | ■ HEPA vacuum | ■ HEPA vacuum | ■ HEPA vacuum |
| | ■ 立即打掃/清除 | ■ 立即打掃/清除 | ■ 立即打掃/清除 | ■ 立即打掃/清除 |
| | ■ HEPA 局部排氣 | ■ HEPA 局部排氣 | ■ HEPA 局部排氣 | ■ HEPA 局部排氣 |
| | ■ 圍住或使隔離 | ■ 圍住 | ■ 圍住 | ■ 圍住 |
| 禁止的工作習慣 | ■ 直接通風 | ■ 直接通風 | ■ 直接通風 | ■ 直接通風 |
| | ■ 其他工作訓練 | ■ 其他工作訓練 | ■ 其他工作訓練 | ■ 其他工作訓練 |
| | ■ 口罩 | ■ 口罩 | ■ 口罩 | ■ 口罩 |
| | ■ 高速圓盤鋸使用狀況下 | ■ 高速圓盤鋸使用狀況下 | ■ 高速圓盤鋸使用狀況下 | ■ 高速圓盤鋸使用狀況下 |



慣與行政管理	<ul style="list-style-type: none"> ■ 沒有 HEPA 在沒有捕捉計畫下壓縮空氣 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 沒有 HEPA 在沒有捕捉計畫下壓縮空氣 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 沒有 HEPA 在沒有捕捉計畫下壓縮空氣 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 沒有 HEPA 在沒有捕捉計畫下壓縮空氣
控制與工作習慣	<ul style="list-style-type: none"> ■ 乾式打掃/ 鏟 ■ 重要關卡/ 隔離方法的監測 <ul style="list-style-type: none"> ● >25 linear or 10 square feet if TSI or SM removal ● <25 linear or 10 square feet if TSI or SM removal only of no NEA or three are adjacent workers ■ HVAC 隔離監測 ■ 不透水布料監測 ■ 如果沒有 NEA 或 > 大於一個 PEL，直接通風監測 ■ 事物必須都被涵蓋 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 只有在室內工作 ■ 重要關卡/ 隔離的方法監測，如果 <ul style="list-style-type: none"> ● 沒有 NEA ● 可能大於一個 PEL ● 移除損傷 ■ 不透水布料監測 ■ 對移除乙烯基與地面瀝青物質 <ul style="list-style-type: none"> ■ 無磨光 ■ HEPA 真空 ■ 濕式作業 ■ 無乾式打掃 ■ 所有切割機 ■ 都必須在負壓環境下工作 ■ 盡可能完全移除 ■ 允許乾熱移除 ■ 假設包含沒有石棉分析 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 乾式打掃/ 鏟 ■ 重要關卡監測 <ul style="list-style-type: none"> ● 如果沒有 NEA ● 經由監測知大於 PEL ■ 不透水布料監測 ■ 局部 HEPA 排氣監測 <p>Note: 如果 TSI 或 SM 在鑽、剪、磨損、磨光、鋸、削等以圍繞或獨立的操作監測</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 乾式打掃/ 鏟 ■ 見一般工作訓練監測跟工程管制在這個表格
	<p>以下的控制必須</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 對移除屋頂物質 ■ 盡可能完全 		

使用一個或多個：

- 負壓空間
- 手套袋子
- 負壓手套袋子
- 負壓手套盒子
- 噴灑水
- 微小空間

移除

- 如可行使用濕式作業
- 切割機噴灑水霧
- HEPA-真空碎片
- 盡可能的接近地面
- 對不會下沉物質控制粉塵
- 避免經由屋頂排氣系統攝入空氣中
- 石綿

對移除水泥壁板、屋頂

- 盡可能完全移除
- 濕式作業
- 廢棄物到地面經由陡坡道、吊車禍起重機，或用不能穿透的垃圾袋或塑膠布纏繞，在一天的結束時丟棄到地面
- 把釘子的頭剪掉

移除襯墊

- 如果沒有移除就用手套

袋子

- 濕式移除
- 迅速處理
- 濕式擦去

額外的規定

- 濕式作業
- 盡可能完全
移除
- 切割、磨損
或禁止破壞

